



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

导弹测试 与发射控制技术

Test and Launch Control Technology for Missile

(第2版)

胡昌华 马清亮 郑建飞 编著

• 基础性 • 前沿性 • 系统性 • 通用性 • 实践性

国家级规划教材；作者权威；体系新颖；

全国优秀出版社倾力打造



国防工业出版社
National Defense Industry Press

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

导弹测试与发射控制技术

(第2版)

胡昌华 马清亮 郑建飞 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书以一种全新的体系结构介绍导弹测试与发射控制技术:从导弹控制系统部件或系统的工作原理出发,分析导弹控制系统部件或系统的输入/输出传递关系,进而分析对应的导弹控制系统部件或系统的测试技术指标、测试原理与测试方法,并介绍一些故障的分析、排除方法。主要内容包括惯性器件与系统、伺服机构、电源配电系统、制导系统、姿态控制系统、安全自毁系统及其测试,单项检查、总检查与发射电路及其测试,导弹弹道与诸元计算,导弹初始对准技术,导弹精度分析,测试与发射控制故障诊断技术。

本书适合作为导弹控制、测试计量技术与仪器、检测技术与自动化装置、导航制导与控制等专业高年级本科生和研究生的教材,对从事导弹测试与发射控制系统设计与使用的广大工程技术人员也不失为一本内容系统全面、视角独特、参考价值高的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

导弹测试与发射控制技术 / 胡昌华, 马清亮, 郑建飞
编著. —2 版. —北京: 国防工业出版社, 2015. 9

“十三五”普通高等教育本科国家级规划教材

ISBN 978-7-118-10266-6

I. ①导... II. ①胡... ②马... ③郑... III. ①导弹 -
测试技术 - 高等学校 - 教材 ②导弹发射 - 指挥控制系统 -
高等学校 - 教材 IV. ①TJ760.6 ②TJ768

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 192168 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

三河市腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 18 1/4 字数 448 千字

2015 年 9 月第 2 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 58.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 88540777

发行邮购: (010) 88540776

发行传真: (010) 88540755

发行业务: (010) 88540717

前 言

自 2010 年第 1 版后,又过去了近五年时间。在教学过程中,根据装备技术的新发展,如电动伺服机构的发展,导引头技术的广泛应用,测试体制、测试方案出现的许多变化和发展,我们对部分章节进行了修订。另外,考虑到弹道分析与诸元计算、初始定位与对准、精度分析等导弹武器使用中必须面对的问题,我们在第 2 版中增加了论述这三部分的章节。胡昌华教授撰写了新增的第十二章导弹初始定位与对准、第十三章导弹精度分析,并对第一、四、六、十四章进行了修订。李邦杰副教授撰写了新增的第十一章导弹诸元计算。周涛博士参与了第六章中雷达导引头及测试部分的修订。

本书第 1 版自出版以来,得到国防科技大学、航天工业部门、总装备部实验基地等军地众多科研院所科技人员的广泛关注、重视和高度好评,在部队从事相关专业的广大官兵中也获得较高认可,在此向所有关心、支持本书及第 2 版出版的领导及学界同仁表示衷心的感谢!

本书在成稿和出版过程中得到国家杰出青年科学基金(61025014)、国家自然科学基金面上项目(61573365)的资助,在此向国家自然科学基金委员会,特别是信息三处的王成红、宋苏同志表示衷心的感谢!

本书 2014 年被评为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材,这既是学界同行们对我们的肯定和鼓励,也是对我们的鞭策,我们希望结合教学工作,继续对本书进行后续的完善和发展,也希望同行们能及时地给予我们更多的批评、指导和帮助!

作者

2015 年 3 月于古都西安

第 1 版 前 言

第二炮兵工程学院测控工程教研室从 1959 年就一直从事导弹测试与发射控制技术方面的教学研究工作,教研室先后编写过近十本导弹测试与发射控制技术方面的教材,但这些教材大多以单一型号为背景,缺少能覆盖不同型号背景的通用化公共专业基础教材。国内公开出版的系统论述导弹测试与发射控制技术方面的文献也不多见,宇航出版社出版的导弹丛书中有一些这方面的著作,但也多是结合背景型号展开论述。冉隆遂研究员 1996 年出版过一本《导弹测试发射控制工程》著作,但随着时间的推移,有许多技术已有新的发展。教学实践的迫切需要,使我们萌生了编写一本内容系统全面而又能反映相关技术最新发展的导弹测试与发射控制技术方面的教材。进入 21 世纪后,国家教育部提出高校教育应朝“重基础,宽口径”的方向发展,更坚定了我们编写一本导弹测试与发射控制技术方面通用教材的想法。为此,我们从 2005 年开始着手这一教材的编写,2007 年 5 月完成第一稿,由第二炮兵工程学院作为学院本科生教材试用两期,期间数易其稿,2009 年 10 月完成第二稿,并进行第三期试用,试用过程中再次对许多内容进行了修改、完善,形成了目前的版本。

本书的成稿,凝聚了第二炮兵工程学院测控教研室几代人的智慧,胡昌华教授提出并确定了教材的整体编写体系结构:从被测对象工作原理及其传递函数分析出发,阐释设备或系统的测试参数、测试指标及测试方法。这一全新的体系结构是论述导弹测试与发射控制技术的一种全新尝试。本书在写作过程中参阅了学院自编教材的一些内容,在此对相关内容的作者一并致以谢意!周涛、刘志国、廖守亿同志参与了第六章部分内容的编写,岳瑞华、徐中英参加了书稿写作思路的研究,并对部分书稿进行了校正,在此一并表达我们的谢意!此外,本书还得到了第二炮兵工程学院许多领导和同事的关心、支持和帮助,在此一并致谢。

本书的出版得到了军队“2110 工程”和教育部“新世纪优秀人才支持计划”的支持,在此表示感谢!

限于我们的水平和本书所涉及内容知识面的宽广性,书中难免存在一些不足之处,恳请广大读者批评指正!

作 者

2010 年 3 月于古都西安

目 录

第一章	导弹测试与发射控制系统	1
第一节	概述	1
第二节	导弹测试与发射控制系统的功用、测试体制及结构组成	2
	一、导弹测试与发射控制系统的功用	2
	二、导弹测试与发射控制系统的测试体制及结构组成	2
第三节	导弹测试与发射控制系统的发展	4
思考题		5
第二章	惯性仪表系统及其测试	6
第一节	陀螺仪及其测试	6
	一、转子陀螺仪	6
	二、光学陀螺仪	11
	三、陀螺仪漂移误差模型	19
	四、转子陀螺仪测试	21
	五、光学陀螺仪测试	30
第二节	加速度计及其测试	34
	一、加速度计概述	34
	二、加速度计的基本原理与动力学分析	35
	三、加速度计的误差数学模型	37
	四、加速度计测试	38
第三节	陀螺稳定平台系统及其测试	42
	一、陀螺稳定平台系统	42
	二、陀螺稳定平台系统测试	55
第四节	捷联惯性测量组合及其测试	63
	一、惯性测量组合	63
	二、惯性测量组合测试	69
第五节	惯性系统的“三自”技术	75
	一、陀螺稳定平台系统的自标定	76
	二、陀螺稳定平台系统的自对准	78
	三、陀螺稳定平台系统的自检测	79
	四、“三自”技术的发展趋势	80
思考题		80

第三章	弹载计算机和变换放大器测试	81
第一节	弹载计算机及其测试	81
	一、弹载计算机的工作原理	81
	二、弹载计算机测试	85
第二节	变换放大器及其测试	88
	一、变换放大器	88
	二、变换放大器测试技术指标与测试方法	89
思考题		90
第四章	伺服机构及其测试	91
第一节	导弹伺服机构概述	91
	一、导弹伺服机构的功用	91
	二、导弹伺服机构的分类	92
第二节	导弹电液伺服机构及其测试	92
	一、导弹电液伺服机构的结构原理	93
	二、导弹电液伺服机构主要元部件的工作原理及作用	95
	三、导弹电液伺服机构的测试项目及性能指标	99
	四、导弹电液伺服机构的测试原理	101
第三节	导弹电动伺服机构及其测试	105
	一、导弹电动伺服机构的结构	105
	二、导弹电动伺服机构的组成	106
	三、导弹电动伺服机构的工作原理	107
	四、导弹电动伺服机构主要性能指标	109
	五、导弹电动伺服机构测试	110
第四节	导弹燃气伺服机构及其测试	111
	一、导弹燃气伺服机构的结构原理	111
	二、导弹燃气伺服机构的性能指标	111
	三、导弹燃气伺服机构的测试	111
第五节	导弹伺服机构性能比较	112
思考题		112
第五章	电源配电系统及其测试	113
第一节	电源配电系统	113
第二节	一次电源及其测试	113
	一、一次电源	113
	二、一次电源测试	114
第三节	二次电源和配电仪器测试	115
	一、二次电源和配电仪器	115
	二、二次电源和配电仪器的主要技术指标	118
	三、电源配电仪器的测试	119

思考题	119
第六章 制导系统及其测试	120
第一节 制导系统概述	120
一、制导系统的主要功能	120
二、制导系统的分类	120
三、制导系统的组成	124
第二节 惯性制导系统及其测试	125
一、惯性制导原理	125
二、惯性制导系统测试	132
第三节 卫星导航定位系统及其测试	135
一、概述	135
二、卫星导航系统的组成	136
三、卫星导航定位系统的工作原理	137
四、卫星导航系统的主要性能指标和测试	140
第四节 地形/景象匹配辅助导航系统及其测试	141
一、概述	141
二、地形匹配辅助导航系统及其测试	142
三、景象匹配辅助导航系统及其测试	149
第五节 其他重要精确制导系统	154
一、雷达制导系统及测试	154
二、激光制导系统及测试	162
三、红外制导	169
思考题	174
第七章 姿态控制系统及其测试	175
第一节 姿态控制系统	175
一、姿态控制系统的任务与组成	175
二、姿态控制系统的工作原理	176
三、姿态控制系统的运动方程和传递函数	177
四、姿态控制系统传递函数框图	178
第二节 姿态控制系统测试	180
一、姿态控制系统测试原则	180
二、姿态控制系统测试方法	180
三、姿态控制系统测试内容与原理	182
思考题	186
第八章 安全自毁系统及其测试	187
第一节 安全自毁系统概述	187
第二节 安全自毁方案	187
一、无线安全自毁方案	187

	二、惯性安全自毁方案	187
第三节	安全自毁系统的组成和工作原理	188
	一、安全自毁系统的组成	188
	二、安全自毁系统的工作原理	189
第四节	安全自毁系统单元测试	190
	一、发动机压力敏感装置及其测试	190
	二、安全起飞零点敏感装置及其测试	190
	三、安全程序控制器及其测试	192
第五节	安全自毁系统综合测试	193
	一、安全自毁系统综合测试的目的和内容	193
	二、安全自毁系统综合测试步骤	193
思考题		194
第九章	综合测试	195
第一节	综合测试概述	195
	一、综合测试的内容	195
	二、综合测试的特点	195
	三、不同状态下的综合测试	196
第二节	单项检查	198
	一、单项检查的内容	198
	二、单项检查原理	198
第三节	分系统测试	202
	一、电源配电系统测试	202
	二、姿态控制系统测试	204
	三、制导系统测试	205
第四节	系统匹配检查	205
	一、控制系统与安全自毁系统的匹配检查	205
	二、控制系统与遥测系统的匹配检查	206
	三、控制系统、安全自毁系统、外测系统与遥测系统的匹配检查	206
第五节	总检查	208
	一、垂直模拟飞行总检查	208
	二、模拟发射总检查	213
	三、紧急断电总检查	214
	四、水平模拟飞行总检查	216
思考题		217
第十章	发射控制	218
第一节	导弹发射控制的基本任务	218
	一、对导弹进行发射前测试	218
	二、完成发射控制过程中的调平、瞄准和装定任务	218
	三、综合并监视导弹发射条件	218

	四、对导弹实施点火发射	219
	五、紧急情况处理	219
	六、发射后撤离或组织连续发射	219
第二节	导弹发射控制程序	219
	一、发射准备阶段	219
	二、发射预令阶段	220
	三、发射主令阶段	220
第三节	发射预案	220
	一、最低发射条件	221
	二、允许最大延迟时间	221
	三、射前应急情况的处理	222
第四节	导弹发射控制技术的发展展望	223
	一、提高可靠性,简化使用流程	223
	二、采用多种发射方式提高生存能力	223
	三、提高自动化水平,实现快速发射	223
	四、研制高集成、全自动、机动性强的发射车,实现越野机动、快速发射	224
	五、采用陆基无依托快速发射,实现随机发射	224
	六、采用水平瞄准和水平检测,以提高隐蔽性	224
思考题		225
第十一章	导弹诸元计算	226
第一节	导弹弹道诸元概述	226
	一、诸元计算的作用	226
	二、弹道诸元计算的基本内容	226
第二节	导弹弹道诸元典型计算方法	227
	一、大地基础诸元计算	227
	二、飞行程序角选择	231
	三、标准弹道计算	232
	四、关机特征量及关机系数计算	232
思考题		234
第十二章	导弹初始定位与对准	235
第一节	导弹初始定位	235
第二节	导弹初始对准	236
	一、水平对准	237
	二、方位对准	237
思考题		244
第十三章	导弹命中精度分析	245
第一节	导弹命中精度的概念	245
	一、弹头落点散布坐标系	245

二、弹头落点散布规律	245
三、导弹命中精度指标	246
第二节 导弹射击精度评定	247
一、射击密集度点估计	247
二、射击密集度区间估计	248
第三节 影响导弹命中精度的主要误差源及误差传播模型	248
一、影响导弹命中精度的主要误差源	249
二、主要误差源引起的误差传播模型	249
思考题	257
第十四章 导弹故障诊断技术	258
第一节 故障诊断的基本概念	258
一、故障的定义	258
二、故障的分类	258
三、故障的基本特征	259
四、设备的故障诊断	259
五、其他与故障及故障诊断相关的概念	259
第二节 故障模式和故障机理	260
一、外部环境影响因素	260
二、设备故障机理分析	261
三、典型元器件故障机理分析	261
第三节 故障诊断的内容与步骤	267
第四节 故障诊断的基本方法	268
一、基于信号处理的故障诊断方法	268
二、基于知识的故障诊断方法	269
三、基于动态数学模型的故障诊断方法	271
四、几种实用的故障诊断方法	272
五、故障维修策略	273
第五节 几个导弹故障诊断系统实例	273
一、导弹测试与发射控制系统故障诊断专家系统	273
二、基于特征检测与模式识别的导弹测试与发射控制系统故障诊断系统	274
三、基于电原理仿真的导弹测试与发射控制系统故障模式仿真、故障诊断与 维修决策系统	275
第六节 导弹测试与发射控制系统故障诊断技术的发展趋势	276
一、智能诊断	276
二、集成诊断	276
三、健康管理	276
四、网络化远程故障诊断	277
思考题	277
参考文献	278

第一章 导弹测试与发射控制系统

第一节 概述

导弹测试与发射控制系统是对导弹各设备及系统的性能及相互间信号的协调配合性实施测试,对导弹进行发射条件检查和准备,对检查合格的导弹按命令进行发射的系统。

导弹控制系统测试包括单元测试和综合测试。其中:单元测试是对弹上各仪器进行的单机测试,通过测试判断导弹各仪器设备的功能是否正常、参数是否符合要求;综合测试是对控制系统各分系统的功能与参数进行的测试,以及对全系统的综合性能、外部系统配合信号的协调性进行的总检查,通常包括单项检查、分系统测试、总检查等内容。

单项检查是对影响导弹发射成败的重要机械部件或电子线路的工作状态和性能进行的单独检查。如发动机点火保险栓栓开和栓闭功能的检查、脱落连接器(弹地信号连接插头)插拔功能的检查。

分系统测试是从分系统的角度考查组成各个分系统的部件整体性能及相互之间的协调匹配性能是否正常。控制系统通常包括电源配电系统、制导系统(又称射程控制系统)和姿态控制系统(又称稳定系统)等分系统。

总检查是对导弹全系统综合性能进行的检查测试,重点检查各系统工作的协调性和典型的系统参数。作为对导弹总体使用性能的最后检验,总检查通常包括模拟飞行、模拟发射和紧急断电等检查。模拟飞行完成导弹飞行时序、全系统极性关系、制导准确性以及各系统之间工作协调性的检查;模拟发射主要考核调平、瞄准、诸元装定、电源转换、点火发射程序,检查导弹“发射”后飞行状态下的性能和参数;紧急断电检查是在转电之后、发射之前,发现紧急危险时,通过切断弹上供电和地面供电,从而中止整个发射进程的一种应急电路检查。通过紧急断电检查,实现对发射电路的检查和发射不成功时各系统的紧急断电,以及关机功能的检查。

导弹的发射控制是对导弹实施控制系统接通、状态初始化控制以及各种发射准备条件的综合,并对检查合格、准备好的导弹实施发射点火控制。

导弹测试与发射控制系统是导弹武器系统的重要组成部分,配合指挥控制系统(指挥自动化设备),共同完成导弹的作战使命。此外,为完成导弹的作战任务,还有许多作战保障系统,如气象保障、大地测量、射击诸元计算、火力规划、任务规划、航迹规划、情报保障等系统。

导弹测试与发射控制系统在导弹武器研制和使用中具有重要的地位,主要体现在以下三点。

(1) 导弹测试与发射控制系统是导弹武器发挥战术技术性能的重要保证。导弹武器从出厂直到在阵地上实施发射,每一个环节都需要利用导弹测试与发射控制系统对其性能进行检查和测试。高性能的导弹测试与发射控制系统,能快速、准确判断导弹的性能,并及时将性能合格的导弹发射出去。现代战争将缩短发射准备时间作为提高导弹武器攻击能力的一项重要战术技术指标。为此,导弹测试与发射控制系统不仅应具有高度的自动化水平和高可靠性的

设备,而且应具有先进的通信手段和快速的阵地展开、撤收性能。针对现代战争的特点,研制出高性能导弹测试与发射控制系统,是导弹武器发挥战斗威力的重要保证。

(2) 导弹测试与发射控制系统是实现导弹性能检验与优化设计的重要手段。导弹从出厂直到试验飞行的整个过程中,需要运用导弹测试与发射控制系统对各个仪器、分系统、全系统进行参数测试和性能验证。导弹测试与发射控制系统的测量结果,可以作为验证和修改导弹设计的重要依据。

导弹测试与发射控制系统是导弹控制系统优化设计的重要环节。实践表明,弹-地一体化设计是导弹武器系统的重要研究方法。为满足导弹武器系统的战术技术指标和优化设计目标,需要将导弹测试与发射控制系统同导弹作为一个整体来考虑,统筹协调,一体化设计。

(3) 导弹测试与发射控制系统是实现导弹武器基于信息系统体系作战指挥决策的重要依托。随着计算机技术、通信、控制技术的发展,导弹测试与发射控制系统逐渐形成了集指挥、测试、监视、发射控制于一体的系统,并逐渐成为导弹地面设备的中枢。为了进一步适应现代作战的需要,今后还将会实现指挥、控制、通信、信息一体化的地面武器系统结构,从而使得导弹测试与发射控制系统的地位和作用越来越重要。随着人工智能、实时仿真、专家系统、网络通信等新技术的广泛应用,导弹测试与发射控制系统将不仅是测试、发射导弹的重要设备,而且将成为导弹武器的性能分析与指挥决策的重要依托。

第二节 导弹测试与发射控制系统的功用、测试体制及结构组成

一、导弹测试与发射控制系统的功用

- (1) 对导弹控制系统的功能和参数进行检查和测试。
- (2) 对导弹发射电路进行检查。
- (3) 对导弹进行发射条件综合,实施发射点火控制。
- (4) 配合指挥自动化系统,对导弹实施测试和发射的指挥控制。

二、导弹测试与发射控制系统的测试体制及结构组成

按照测试顺序分,导弹有两种测试体制:①由局部到整体、自底向上的测试方法,即先进行单元测试,再进行分系统测试,最后全系统进行总检查;②由整体到局部、自顶向下的测试方法,即先测试整个系统,如正常,则通过,如有问题,则测试分系统,进而测试单个仪器。

按照测试设备配置的位置分,导弹有三种测试体制:①地测体制;②弹测体制;③弹测与地测相结合的测试体制。

地测体制的所有测试设备放在地面,弹地之间通过模拟电缆实现信号的连接和信息的交互。弹测体制的测试设备放在弹上,测量结果通过通信方式发送至地面。弹地结合体制通过弹测和地测结合,完成导弹的测试。

(一) 基于地测体制的导弹测试与发射控制系统及其结构组成

基于地测体制的导弹测试与发射控制系统通过弹地连接电缆,将弹上被测信号引到地面导弹测试与发射控制系统,经信号调理后供导弹测试与发射控制系统进行测试,由导弹测试与发射控制系统对测试结果进行分析处理,对故障情况进行初步分析诊断,对测试合格的导弹按操作流程进行发射准备和发射。

典型的基于地测体制的导弹测试与发射控制系统结构组成如图 1.2.1 所示。

由图 1.2.1 可见,典型的基于地测体制的导弹测试与发射控制系统通常由以下设备组成:

- (1) 发射控制台。
- (2) 配电转接箱。
- (3) 自动测试设备(ATE)。
- (4) 测试与发射控制计算机。
- (5) 瞄准设备(或定位定向设备)。
- (6) 指挥自动化设备。
- (7) 产品等效器。
- (8) 绝缘通路测试仪。
- (9) 各种地面测试电源。
- (10) 配套信号转接电缆。

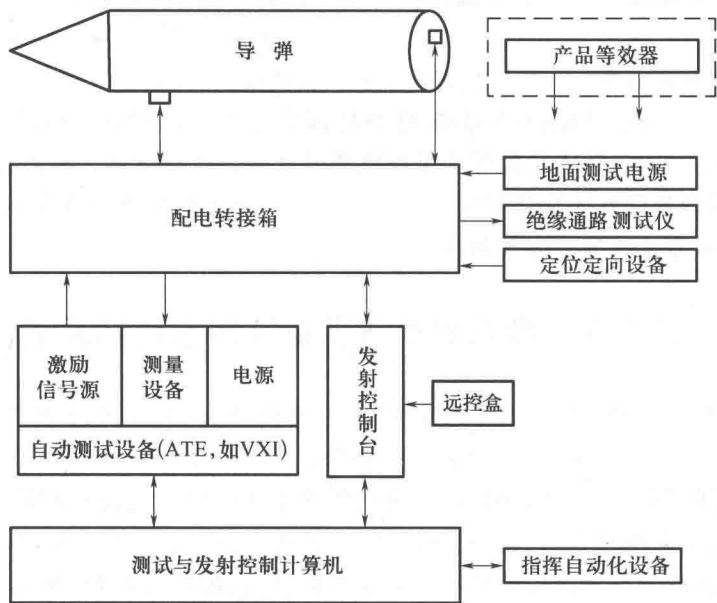


图 1.2.1 基于地测体制的导弹测试与发射控制系统结构组成图

(二) 弹测与地测相结合的导弹测试与发射控制系统

地面导弹测试与发射控制系统和弹载分布式检控器协调配合,共同完成导弹的测试与发射控制任务。在地面,以总线式测控系统为主体,构成集激励、采样、测量、数据处理多功能为一体的测控系统;在弹上,设置检控器,检控器接收地面测控系统发来的控制字,并对控制字进行解析,按照控制命令进行测量量程控制,发出测试激励,进行系统或设备在激励下响应结果的采样,并对采样结果进行处理,最后将测试结果通过通信发送至导弹测试与发射控制系统。导弹测试与发射控制系统对两部分信息进行汇点,进行测试与发射控制决策。

对于弹测与地测相结合的导弹测试与发射控制系统,被测信号在弹上就近采样,设备之间以数字通信替代了原来模拟信号点对点的通信方式,大幅度减少了导弹弹上设备之间、系统之间、弹地之间的连接电缆,同时也减轻了导弹的结构重量,数字通信较之模拟通信的抗干扰能力也得到较大提高。

(三) 基于总线分布式测控技术的导弹测试与发射控制系统

对于这种测试体制,弹上和地面均采用总线分布式测控技术,弹上总线和地面总线可以相同,也可以不同。各设备内部均集成有智能微处理单元(如 SoC、DSP、FPGA 等)、采样电路(A/D、D/A 转换、时序回采电路等)、标准总线接口电路等,实现了各设备的智能化、数字化。智能化弹上设备和地面测控设备以总线控制器(BC)、远程终端(RT)和监视终端(MT)形式就近挂载在总线上,弹上设备自主完成测试,将本地数据采集并传输至总线,测试与发射控制系统作为远程终端(RT),通过其总线监视接口(MT)获取弹测数据并完成数据分析。各个设备均具有自检测、自诊断甚至自标校功能。

基于总线分布式测控技术的导弹测试与发射控制系统具有如下优点:①利用总线传输各类程序指令信号,简化了控制系统结构,有利于提高导弹控制系统的工作可靠性;②采用总线体制进行分布式综合集成,使得弹上控制设备模块化、通用化,接口标准化、智能化,有利于控制与测试的一体化设计;③弹上遥测系统、地面测试与发射控制系统作为总线监视设备 MT,能够方便地获取全部测试信息,为实现导弹的在线故障诊断和健康监控管理提供了条件。

(四) 导弹免测试技术

免测试是指导弹处于性能保持期内,接到作战命令后,不经测试直接将导弹投入作战使用。例如,俄罗斯的 S300 防空导弹等均采用免测试技术。免测试的关键是确认导弹处于性能保持期,前提是对导弹的性能演化规律、寿命演化规律、可靠性演化规律有确切的了解和掌握,核心理论基础是故障预报与寿命预测理论。

第三节 导弹测试与发射控制系统的发展

导弹测试与发射控制系统经历了手动测试、半自动测试、总线式自动测试、弹测与地面测试相结合的测试、分布式总线测试、免测试几个主要发展阶段。

早期的导弹测试采用手动测试系统。测试所需激励信号通过发射控制台上的开关、按钮或旋钮施加,测试结果通过指示台上的指示灯、表头加以显示,人工对测试结果进行观察判断和分析。此时导弹测试与发射控制系统包括发射控制台、配电转接箱、配套信号转接电缆、瞄准设备(或定位、定向设备)、绝缘通路测试仪、产品等效器等。

导弹测试与发射控制系统发展的第二阶段是半自动测试系统。此阶段导弹测试所需激励的施加和系统测试响应的分析及判断在程序控制下自动完成。此时导弹测试发射控制系统包括发射控制台、配电转接箱、半自动测试设备、配套信号转接电缆、瞄准设备(或定位、定向设备)、绝缘通路测试仪、产品等效器等。

导弹测试发射控制系统发展的第三阶段是总线式自动测试系统。测试系统采用 CAN、PCI、VXI 等总线式自动测试系统,系统结构图如图 1.2.1 所示。此时的导弹测试与发射控制系统中的测试软件在系统中发挥重要的作用。

随着电子技术、计算机控制技术、仪器仪表技术的迅速发展,弹测与地面测试相结合的测试、分布式总线测试、免测试技术得到越来越广泛的应用,导弹测试与发射控制系统的集成化、智能化、自动化、信息化程度得到大幅度提升。

(1) 集成化、智能化、自动化、信息化程度越来越高。随着分布式总线测试、免测试技术的广泛运用,导弹运输、通信、指控、测控、瞄准、发射等功能均集成在一辆多功能发射车上,导弹

测试与发射控制系统的集成化、智能化、自动化、信息化程度越来越高。

(2) 任意点随机快速发射。采用自寻北、星光制导、卫星定位定向及惯性系统自检测、自对准和自标定技术,实现导弹任意点随机机动发射。

(3) 测试与发射控制的时间越来越短。为提高导弹的生存能力和快速反应能力,普遍采用自动化测试和智能化信息分析处理技术,测试的时间越来越短。

(4) 抗恶劣环境工作能力越来越强。为应对战场恶劣环境,导弹测试与发射控制系统普遍采用耐高低温、耐高压、电磁加固等耐环境设计和可靠性设计保障技术,使导弹测试与发射控制系统的抗恶劣环境适应能力越来越强。

思考题

1. 导弹控制系统的测试包括哪些内容?
2. 导弹测试与发射控制系统在导弹武器系统中的地位和作用是什么?
3. 简述导弹测试与发射控制系统的结构和组成。
4. 按照测试设备配置的位置,导弹测试与发射控制系统有哪些测试体制?
5. 简述典型的基于总线分布式测控技术的导弹测试与发射控制系统的结构组成和特点。

第二章 惯性仪表系统及其测试

惯性仪表主要包括陀螺仪和加速度计。广义上讲,凡能保持给定方位,并能测量载体绕给定方位转动的角位移或角速度的装置均可称为陀螺仪。能够保持给定的方位,并测量载体角位移或角速度的功能称为陀螺效应。能够测量载体运动加速度的装置称为加速度计。

导弹惯性制导系统中惯性仪表的主要功能是:建立导弹空间运动的方位基准(惯性坐标系);测量载体相对于惯性坐标系转动的角速度、角度和运动的线加速度。

惯性制导系统可分为平台惯导系统和捷联惯导系统两大类:平台惯导系统通过惯性测量元件和稳定控制回路,使平台台体与外部相对隔离,方位保持不变(或按给定规律改变),惯性元件置于平台台体上;捷联惯导系统中的惯性测量元件直接固连在弹体上,用于测量导弹在飞行过程中相对于弹体坐标系的运动参数。

研究表明,对于纯惯性制导导弹,惯性仪器的工具误差引起的落点偏差占整个落点偏差的近 70%。因此,提高惯性测量系统的测量精度,或通过测试建立惯性测量系统的误差模型,并在飞行中用补偿的方法加以抑制或消除,有重要的现实意义。

第一节 陀螺仪及其测试

产生陀螺效应的机理有很多种,人们根据不同的陀螺效应产生机理,研制出了不同形式的陀螺仪。例如:刚体转动陀螺仪就是利用高速旋转的刚体具有陀螺效应而形成的陀螺仪;振动陀螺仪是利用振动叉旋转时的哥氏加速度效应做成的角速度测量装置;半球谐振陀螺仪是利用振动环旋转时的哥氏加速度效应做成的角位移测量装置;静电陀螺仪利用悬浮技术支撑转子,并利用光电传感器摄取转子特制刻线形成的光脉冲来间接测量偏差角;压电陀螺仪利用晶体的压电效应做成角速度测量装置;粒子陀螺仪利用基本粒子的陀螺磁效应做成角速度测量装置;光学陀螺仪利用光学 Sagnac(萨格奈克)效应制成角速度测量装置。

目前,转子陀螺仪和光学陀螺仪应用较广泛。本节重点讨论这两类陀螺仪。

一、转子陀螺仪

(一) 单自由度转子陀螺仪

单自由度转子陀螺仪包含两个刚体:一个是具有两个转动自由度的转子;另一个是具有单一转动自由度的内框架。单自由度转子陀螺仪的结构如图 2.1.1 所示。

在描述单自由度陀螺仪运动时,可采用图 2.1.2 所示的两套坐标系:固连于陀螺仪内框架上的坐标系 $Ox_1y_1z_1$, x_1 为陀螺内框轴,也是测量信号的输出轴, y_1 为陀螺缺少自由度的轴,该轴是被测角速度的敏感轴,通常称为输入轴或测量轴, z_1 为转子自转轴。 $Ox_0y_0z_0$ 为固连于基座的坐标系。

当陀螺仪绕 y_0 轴以 ω_y 转动时,会产生陀螺力矩,陀螺力矩大小为 $H\omega_y$,方向为右手从 H 握