


Missile Initiators&Pyrotechnics And Their Safety

导弹火工品 及其安全性

张旭 叶文 吕晓峰 等著



 中国工信出版集团

 电子工业出版社
Electronic Industry Press
<http://www.pitri.com.cn>

导弹火工品及其安全性

张旭 叶文 吕晓峰 邱立军 赵曦 著

電子工業出版社·

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书系统地介绍了导弹火工品及其安全性的相关知识。内容包括导弹火工品的概念、用途和分类、火工品药剂、典型导弹火工品、新型火工品技术、火工品固有安全性、火工品储存与转运安全、火工品操作安全等。为方便读者查阅专业词汇，书末还提供了导弹火工品常用词汇对照表及火工品安全国家军用标准列表。

本书可作为高等院校导弹工程相关专业的教材，也可供从事导弹火工品论证、研制、使用及管理人员参考。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

导弹火工品及其安全性 / 张旭等著. —北京：电子工业出版社，2018.10

ISBN 978-7-121-34952-2

I. ①导… II. ①张… III. ①导弹—火工品—安全性—研究 IV. ①E927

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2018）第 199167 号

策划编辑：张正梅

责任编辑：刘小琳 特约编辑：刘 炯

印 刷：北京七彩京通数码快印有限公司

装 订：北京七彩京通数码快印有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编：100036

开 本：720×1000 1/16 印张：13.75 字数：277 千字

版 次：2018 年 10 月第 1 版

印 次：2018 年 10 月第 1 次印刷

定 价：98.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888，88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式：（010）88254757。

前 言

导弹技术是当今世界上高度复杂、高速发展的科学技术之一，它所取得的每项成就都是人类智慧的结晶。火工品是导弹武器系统的重要组成部分，是装有火炸药的小型爆炸元件或装置，能在外界不大的某种形式能量（机械能、热能或电能）激发下，发生燃烧或爆炸，获得某种化学效应或机械效应，如点燃火药、起爆炸药或作为某种特定的动力能源等。导弹火工品均装有含能材料，因具有敏感程度高、输出能量大及作用迅速等突出特点，其安全性受到高度关注。导弹火工品安全性既取决于自身固有特性，又与储存、运输、维护及使用等外部因素密切相关。导弹火工品及其安全性对导弹武器性能发挥有至关重要的影响和作用。

编写本书的目的主要是满足导弹专业本科生对导弹火工品及其安全性基本概念和理论知识的学习需求，同时又不至于过分专业化，以便非导弹专业学员宏观了解导弹火工品相关知识，为学习导弹系统专业知识打下基础。因此，本书在内容上既力求知识体系的完整性，又尽量反映当代导弹火工品的新技术、新概念和发展趋势，在内容上则力求深入浅出、图文并茂。

本书比较全面地介绍了导弹火工品及其安全性相关知识、现状和发展趋势。全书分为 6 章：第 1 章绪论，介绍导弹火工品概念、用途、分类、特点及主要战术技术要求；第 2 章火工品药剂，主要介绍起爆药、猛炸药、点火药及延期药的种类和特性；第 3 章典型导弹火工品，主要介绍点火类火工品、起爆类火工品、做功类火工品及索类火工品的结构组成、工作原理及性能特点；第 4 章新型火工品技术，主要介绍半导体桥起爆点火技术、直列式起爆点火技术、激光起爆点火技术及 MEMS 火工品技术；第 5 章火工品固有安全性，主要从药剂安全、安全设计及供电安全等方面对火工品安全性进行分析；第 6 章火工品勤务处理安全，主要介绍储存、转运及操作过程对火工品安全性的影响。书末还给出了中英导弹火工品常用词汇对照表，以及火工品安全国家军用标准列表。

本书是集体创作的成果。第 1~第 3 章由张旭编写，第 4 章由叶文编写，

第5章由吕晓峰、邱立军编写，第6章由邱立军、赵曦编写，附录由赵曦、张旭编写。

本书在编写过程中，参考了许多国内外文献资料 and 高等院校有关教材，在此对原作者表示衷心的感谢。导弹火工品及其安全性涉及的基础理论相当广泛，导弹火工品技术发展日新月异，限于编者的水平，本书在编写时，虽力求全面、系统，仍难免存在错误和不当之处，恳请各位读者提出宝贵意见。

作者
2018年5月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 导弹概述	1
1.2 火工品概念	4
1.3 导弹火工品用途	5
1.3.1 点火作用	7
1.3.2 起爆作用	11
1.3.3 做功作用	15
1.4 导弹火工品分类	16
1.5 导弹火工品特点	18
1.6 导弹火工品战术技术要求	19
本章小结	21
思考题	21
第 2 章 火工品药剂	22
2.1 起爆药	22
2.1.1 起爆药特性	22
2.1.2 几种常用起爆药	28
2.1.3 对起爆药的要求	40
2.2 猛炸药	41
2.2.1 太安	41
2.2.2 黑索金	43
2.2.3 奥克托金	45
2.2.4 特屈儿	47
2.3 点火药	49
2.4 延期药	53
本章小结	56
思考题	56
第 3 章 典型导弹火工品	57
3.1 点火类火工品	57
3.1.1 烟火剂点火器	58

3.1.2	点火发动机	62
3.1.3	隔板点火器	63
3.2	起爆类火工品	64
3.2.1	雷管	64
3.2.2	导爆药柱	87
3.2.3	传爆管	90
3.3	做功类火工品	94
3.3.1	燃气发生器	94
3.3.2	电爆管	97
3.3.3	作动装置	98
3.3.4	点式分离火工装置	103
3.3.5	线型分离火工装置	110
3.4	索类火工品	115
3.4.1	导火索	116
3.4.2	导爆索	120
	本章小结	125
	思考题	126
第4章	新型火工品技术	127
4.1	半导体桥起爆点火技术	127
4.1.1	结构组成	127
4.1.2	工作原理	130
4.1.3	主要特点	132
4.1.4	典型应用	133
4.2	直列式起爆点火技术	136
4.2.1	系统组成	136
4.2.2	冲击片雷管	138
4.2.3	冲击片点火管	143
4.3	激光起爆点火技术	146
4.3.1	激光起爆点火机理	146
4.3.2	激光点火技术	147
4.3.3	激光起爆技术	151
4.4	MEMS 火工品技术	154
4.4.1	MEMS 火工器件特点	155
4.4.2	MEMS 火工技术应用	156
	本章小结	160
	思考题	160

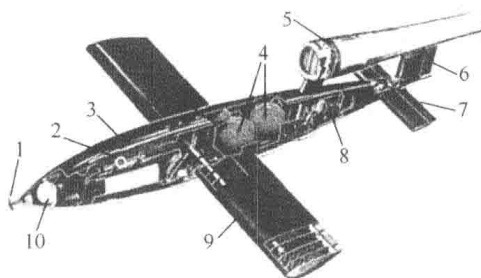
第 5 章 火工品固有安全性	161
5.1 火工品药剂安全	161
5.1.1 火工品药剂的不安定因素	161
5.1.2 高安全火工药剂	165
5.2 火工品安全设计	167
5.2.1 安全编码技术	168
5.2.2 抗杂散电流技术	169
5.2.3 抗静电技术	170
5.2.4 抗射频技术	173
5.3 火工品供电安全	175
5.3.1 火工品点火电路	176
5.3.2 引信供电电路	179
本章小结	181
思考题	181
第 6 章 火工品勤务处理安全	182
6.1 储存安全	182
6.1.1 温度影响及效应	182
6.1.2 湿度影响及效应	185
6.1.3 其他因素影响及效应	187
6.2 转运安全	188
6.2.1 振动影响及效应	189
6.2.2 冲击影响及效应	189
6.3 操作安全	190
6.3.1 静电影响及效应	191
6.3.2 射频影响及效应	196
本章小结	203
思考题	203
附录 A 中英导弹火工品常用词汇对照表	204
附录 B 火工品安全国家军用标准列表	210
参考文献	211

第1章 绪论

1.1 导弹概述

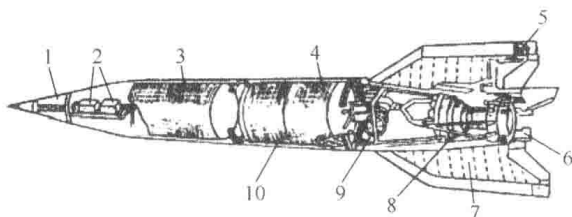
导弹是载有战斗部，依靠自身动力装置推进，由制导系统导引、控制其飞行轨迹，并导向目标的飞行器。导弹依靠火箭发动机推进，也可由空气喷气发动机或组合型发动机提供飞行动力。

最早投入作战使用的导弹，主要有第二次世界大战后期德国研制的 V-1 飞航式导弹（图 1-1）和 V-2 弹道式导弹（图 1-2）。V-1 导弹以喷气发动机为动力，采用简易制导系统，由自主式磁性陀螺和机械装置对飞行高度、状态和弹道进行控制。



1—风轮；2—引信；3—战斗部；4—金属丝缠绕的球形压缩空气瓶；5—脉动式空气喷气发动机；6—方向舵；7—升降舵；8—自动驾驶仪；9—弹翼；10—磁罗盘。

图 1-1 V-1 飞航式导弹



1—战斗部；2—制导系统；3—酒精贮箱；4—液氧贮箱；5—空气贮；6—燃气贮；7—尾翼；8—液体火箭发动机；9—涡轮泵；10—弹体。

图 1-2 V-2 弹道式导弹

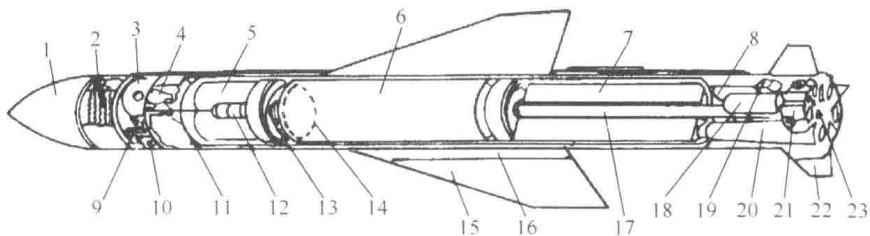
V-2 导弹装有单级液体火箭发动机，采用无线电遥控制导方式。

从 20 世纪 50 年代初开始，导弹进入了快速发展期，导弹武器的型号、数量

及生产规模均有很大的发展和变化。美国着重发展洲际弹道导弹，并在潜射弹道导弹方面领先，主要型号有“红石”（1950年）、“大力神”（1955年）、“民兵”（1958年）弹道导弹，以及“北极星 A1”（1952年）、“北极星 A2”（1958年）潜地战略导弹等。俄罗斯除发展弹道导弹外，也比较重视反舰导弹的研究，是这一时期拥有反舰导弹型号和装备数量最多的国家。弹道导弹主要型号有“飞毛腿”（1950年）战术地地弹道导弹、“短剑”（1958年）战略弹道导弹，反舰导弹主要型号有“狗窝”（1950年）空舰导弹、“沙道克 A”（1951年）潜舰导弹、“冥河”（1959年）舰舰导弹等。

进入 20 世纪 60 年代，由于科学技术的发展和战场条件的变化，导弹进入了改进性能、提高质量发展时期。特别是 1967 年第三次中东战争中，埃及用苏制“冥河”导弹一举击沉以色列“埃拉特”号驱逐舰后，反导技术得到发展，反舰导弹武器研制重点则转向如何改进突防能力和提高生存力上。这一时期各类导弹均进行了多次改型，性能均有明显提高。

70 年代以来，随着先进的设计思想及科学技术的广泛应用，导弹武器步入了全面更新时期，各类新型号导弹不断推出，如弹道导弹中的“SS-20”“潘兴”“MX”等；巡航导弹中的“AGM-86B”和“战斧”系列；防空导弹中的“罗兰特”“响尾蛇”“爱国者”“标准”等；空空导弹中的“不死鸟”“魔术 R550”；反舰导弹中的“飞鱼”系列和“捕鲸叉”系列；反坦克导弹中的“海尔法”等。飞鱼（Exocet）MM38 反舰导弹如图 1-3 所示。



- 1—主动雷达导引头；2—制导计算机；3—高度表；4—垂直陀螺；5—战斗部；6—主发动机；7—助推器；
8—热电池；9—航向陀螺；10—高度表发射天线；11—高度表接收天线；12—引爆装置；
13—保险机构和引火装置；14—自毁断裂索；15—弹翼；16—发动机点火机构；17—主发动机的长喷管；
18—变流机；19—自毁控制设备；20—助推器喷管；21—舵机；22—尾翼；23—自毁监控陀螺。

图 1-3 飞鱼（Exocet）MM38 反舰导弹

在现代战争中，导弹武器越来越发挥着重要作用。从 20 世纪 60 年代的越南战争，80 年代的英阿马岛战争，90 年代的海湾战争，到现在的叙利亚战争，都一再说明，在现代常规战争中，导弹已成为左右战场形势、决定战争胜负的一个重要因素。

导弹是一种飞行武器，虽然各类导弹作战用途不尽相同，却有着基本一致的

结构和组成部分，主要由弹体、制导、推进、战斗部和电气 5 个分系统组成。

1. 弹体

弹体即导弹的主体，是由舱段、空气动力面及弹上机构连接而成的。弹体是外力的主要承受者，它的功能是使导弹的各部分组合成一个整体，并使导弹形成良好的气动外形。

舱段连接成的主体称为弹身，其功用是安装战斗部、制导设备、动力装置及电气设备等，并将弹翼、舵面等部件连成一个整体。弹身是导弹的最主要的受力和承力部件。

空气动力面包括产生推力的弹翼、产生操纵力的舵面及保证稳定飞行的安定面（尾翼）。由于弹道式导弹的弹道大部分在大气层外，一般不需要弹翼或根本没有空气动力面。

2. 制导系统

导弹的制导系统是导引和控制导弹飞向目标的仪器、装置和设备的总称，主要由导引系统和控制系统两部分组成。导引系统用于测量导弹和目标运动参数（如导弹运动方位、导弹和目标的相对距离、目标的运动参数等），产生导弹飞行控制指令；控制系统则用于操纵导弹改变飞行姿态，控制导弹按要求的方向和弹道飞向目标。

3. 推进系统

推进系统，又称为动力装置，用于为导弹发射和飞行提供推动力。常用的动力装置主要有火箭发动机（固体、液体发动机）、空气喷气发动机（涡轮喷气、涡扇喷气、冲压喷气发动机）、火箭冲压发动机及其他组合式发动机等。

推进系统又有助推器和主发动机之分。助推器用来使导弹在发射后快速获得较大速度，多采用固体火箭发动机；主发动机则可使导弹能在较长的时间内续航飞行，有多种工作体制。例如，法国“飞鱼”（MM38）导弹采用的是固体火箭助推器和固体火箭发动机，俄罗斯的“马斯基特”导弹则采用固体火箭助推器和液体冲压组合发动机，而弹道导弹采用多级发动机模式。

4. 战斗部系统

战斗部系统包括引信装置和战斗部两大部分，因此战斗部系统也称引信战斗部系统，简称引战系统。引信的功用就是保证战斗部在最恰当的时间和地点爆炸，主要有近炸引信、触发引信及指令引信等。战斗部则是导弹的有效载荷，用来摧毁目标，是直接完成预定战斗任务的装置。根据作战任务的不同，战斗部又有爆破战斗部、聚能爆破战斗部、半穿甲战斗部、破片战斗部、云爆战斗部、集束战斗部、化学战斗部及核战斗部等多种类型。对于弹道导弹而言，由于战斗部系统一般安装在导弹的头部，通常又称为弹头。

5. 电气系统

电气系统是导弹的重要组成部分，主要由电源（电池组）、配电和变电装置、弹上电缆网、电气成件等组成。电气系统将弹上各分系统连成一个有机整体，实现弹上设备的检查和导弹发射；能适时、正确、安全可靠地为弹上各分系统用电设备提供电能；传递各种指令和信号，保证弹上各用电设备之间互相配合及协同工作，共同完成战斗任务。

1.2 火工品概念

火工品是一类小型、较敏感、装有火炸药的爆炸元件。它能在外界不大的某种形式能量（机械、热或电能）的激发下，发生燃烧、爆炸等化学反应，并用其所释放的能量以获得某种化学物理效应或机械效应，如点燃火药、起爆炸药或作为某种特定的动力能源等。换言之，火工品为装有火药或炸药，受外界刺激后产生燃烧或爆炸，以引燃火药、引爆炸药或做机械功的一次性使用的元器件和装置的总称，它包括火帽、底火、点火管、延期件、雷管、传爆管、导火索、导爆索，以及爆炸开关、爆炸螺栓、启动器、切割索等。它常用于引燃火药、引爆炸药，还可作为小型驱动装置，用以快速打开活门、解除保险及火箭级间分离等。总体来说，火工品是点火—传火、起爆—传爆系统及完成特殊功能的元器件或装置的总称，是武器弹药中不可分割的子系统，同时又是能够独立做功的动力源产品。它是各系统作用的始发元件，又是最敏感产品，因此，它的安全性、可靠性和先进性将直接影响各系统的性能和发展。火工品装有火工药剂，是火炸药的制成品，它是一个独立的元件或装置。

目前，世界各国对火工品还没有一个统一的标准定义。虽然各国在表述上不尽一致，但其含义是大致相同的，一般从结构、性能、用途等方面来加以定义。

兵器工业科学技术词典编辑委员会在“火工品与烟火技术火工品”章节中关于火工品是这样描述的：“火工品是一类小型、较敏感、装有火炸药的爆炸元件。它能在外界不大的某种形式能量（机械、热或电能）的激发下，发生燃烧、爆炸等化学反应，并用其所释放的能量以获得某种化学物理效应或机械效应，如点燃火药、起爆炸药或作为某种特定的动力能源等。”

《火工品术语》（WJ 1624—1994）则将火工品定义为：“装有炸药的小型元件或装置，受一定的初始冲能作用即可燃烧或爆炸，以产生预期的功能。”这一定义中的“炸药”即火工品药剂，主要包括起爆药、猛炸药、火药、烟火药等，可根据不同火工品的具体要求加以选用。例如，为了加强输出功能，起爆类火工品（如雷管）加入了猛炸药；而有些火工品（如导爆索、导爆管）则只装猛炸药这一单

一药剂。定义中的“初始冲能”是指施加于火工品药剂的最初外界冲能，通常有热冲能、机械冲能（撞击、摩擦、针刺等）、电冲能、光冲能等几种形式。产生的预期功能有诸如爆炸、燃烧或做功等功能。

有些火工品结构相对简单，如普通的火帽、底火等引燃火工品；而有些火工品则比较复杂，如先进的飞片式雷管、半导体桥火工品及基于 MEMS（微机械电子系统）的火工品成件等。

总之，火工品都是一些小的炸药元件，具有较高的感度，能由各种类型的很小外界能量激发，释放出大功率能量，起引燃、引爆作用或产生特种效应。火工品种类繁多，用途广泛，体积虽小，地位却很重要，在导弹武器系统中发挥着不可替代的作用。

1.3 导弹火工品用途

火工品是导弹武器系统重要的组成部分，在导弹攻击的各阶段关键点上都发挥着关键性作用。下面以“陶 2A”式反坦克导弹为例，简要介绍导弹火工品的主要用途。

“陶”式导弹是由美国原休斯飞机公司、现休斯导弹系统公司（Hughes Missile Systems）于 1962 年开始研究，1970 年进入美国陆军地面部队服役的第二代重型反坦克导弹，也是世界上产量最大、装备国家最多的反坦克导弹，曾在越南、中东和两伊战争中大量使用。

“陶 2A”导弹长 1177mm，弹径 152mm，弹重 21.5kg，射程 65~3750m，破甲厚度 1030mm。“陶 2A”配有双级串联战斗部，可以击毁披挂反应装甲的主战坦克。导弹本身在结构上，从前到后分为 5 个舱段——战斗部舱、电子设备舱、主发动机舱、中舱和尾舱，各舱段之间通过环形凹槽连接。除发动机壳体及气瓶使用钢材外，弹体大部分零部件采用铝合金制成。“陶”式导弹外形如图 1-4 所示，“陶 2A”式导弹结构如图 1-5 所示。

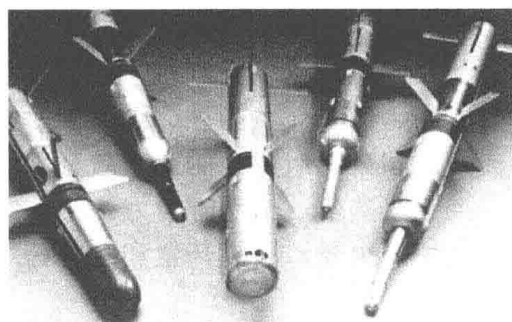
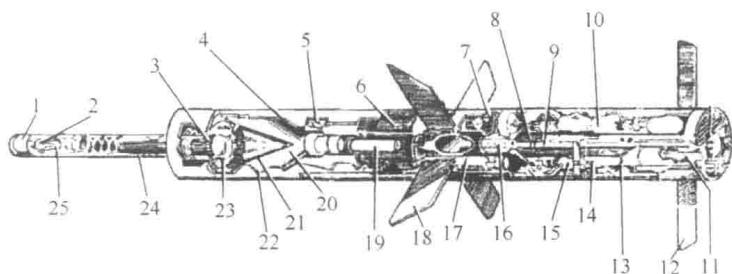


图 1-4 “陶”式导弹外形



1—碰合开关；2—战斗部；3—碰合开关；4—保险机构；5—集成电子单元；6—加速发动机；7—陀螺；
8—起飞发动机辅助单元；9—起飞发动机；10—气瓶；11—制导导线管；12—空气舵面；13—舵面推杆；
14—舵面弹簧；15—控制执行机构；16—“C”电池；17—“A”电池；18—弹翼；19—导火索；20—战斗部；
21—药型罩；22—压制装药；23—电子延时机构；24—外伸探头；25—压制装药。

图 1-5 “陶 2A” 式导弹结构

1. 战斗部舱

基本型战斗部舱装有空心装药聚能破甲战斗部和触发引信。战斗部由风帽、内罩、主炸药、传爆药、药型罩及壳体组成。主炸药为奥克托尔高能炸药，重 2.431kg，其成分为黑索金 75.4%、梯恩梯 24.6%，用真空振动精密铸装法装入战斗部壳体，传爆药柱采用压制成形。战斗部静破甲能力：45 号钢靶板，穿透厚度 586mm；复合靶板，穿透厚度 505mm。触发引信采用 M114 全保险电容式机电引信，包括由风帽和内罩构成的头部触发开关、雷管、启动电源、保险器及保险执行机构等。启动电源为装在电子舱内靠弹上蓄电池充电的电容器，引信解除保险距离为 46~65m。当命中目标时，弹头碰合开关碰合，雷管起爆。改进型战斗部的头部装有长度不同的外伸式触发探头，以提供远距引爆能力。

2. 电子设备舱

电子设备舱装有一系列信号处理电子线路，用于对来自陀螺仪的导弹姿态信号和来自机载/地面控制系统的导线指令信号进行比较，形成控制舵机工作的方波信号，传给中舱舵机并控制 4 片尾舵运动，操纵导弹产生俯仰、偏航和滚转运动。

3. 主发动机舱

主发动机舱内装 1 台 K41 固体火箭发动机，用以使导弹加速飞行。该发动机由燃烧室壳体、喷管座、喷管、主药柱、点火管、挡药板、密封圈、发火器、引燃药盒、点火药柱和药绳组成。两个喷口分别位于弹体中部两侧，单根主装药柱为平台型浇铸双基药，工作时间为 1.6s，燃料重量 2.58kg，点火管纵贯燃烧室中心，内装发火器、引燃药盒和缠有药绳的点火药柱，依次引燃主装药。

4. 中舱

中舱装有采用冷却氮气驱动的反作用式三自由度陀螺仪、气动舵机及作为弹

上电源的 3 个蓄电池。陀螺仪测量导弹倾斜/偏航角误差，并将其送往电子设备舱处理，转换成弹体倾斜稳定/偏航阻尼指令信号，与来自机载/地面控制系统的导线指令信号进行比较，形成控制舵机工作的方波信号，传给尾舱舵机并控制 4 片尾舵偏转，操纵导弹产生所需的俯仰、偏航和滚转运动。舵机装置为采用脉冲调宽工作原理的冷气式舵机，由气瓶（内装氦气）、开瓶器、减压器、4 个电磁阀和 4 个作动器组成，发射时陀螺点火具点火，打开气瓶，放出气体，启动陀螺转动并达到额定速度。4 个作动器通过拉杆、弹簧分别控制着 4 个控制舵面偏转。弹上 3 个蓄电池为红外光源、电子设备舱、引信解除保险、主发动机点火和开启舵机气瓶提供电源。

5. 尾舱

尾舱内部中央装有 1 台固体火箭发动机，在其四周分布有导线盒、红外光源、冷气瓶等。尾舱外部则是 4 片控制舵面。该发动机作为助推器用于导弹发射，使导弹获得飞离发射筒的能量，其由燃烧室、喷管、药柱和点火器组成，采用 4 根 M7 螺压双基管状药柱，工作时间 0.044s，燃料重量 0.545kg。向电子设备舱传输机载/地面控制指令信号的 2 根镀铜钢丝导线，一端分别缠绕在装于尾舱的 2 个导线盒的线管上，其另一端则穿过弹体上的孔连到导弹发射筒前端的切线器上，导线长度与其最大射程基本相同，当导弹飞完全程后，切线器发火将导线切断。

由导弹结构可以看出，火工品分布在“陶”式导弹的各个主要子系统之中，在导弹的陀螺系统启动、起飞发动机点火、加速发动机点火、战斗部起爆控制乃至制导导线切断等各环节上，都发挥了不可替代的重要作用。由于火工品具有质量轻、体积小、工作电源小、输出能量大、作用迅速、成本低、可靠性高等一系列突出优点，因此在导弹武器上得到了广泛的应用。

下面介绍火工品在导弹武器系统中的典型用途。

1.3.1 点火作用

导弹的动力装置（亦称推进系统）是产生推力推动导弹运动的整套装置，它是导弹的重要组成部分。目前，导弹用的发动机按自带氧化剂或利用空气中氧作氧化剂，分为火箭发动机和空气喷气发动机两大类。火箭发动机同时自带燃料和氧化剂，不依靠空气，所以它可以在大气层和无大气的空间工作。火箭发动机按推进剂的物理状态不同，又分为液体火箭发动机和固体火箭发动机。空气喷气发动机本身只带燃料（燃烧剂），因此，空气喷气发动机只能在稠密的大气层中工作。根据空气增压方式不同，空气喷气发动机又分为涡轮喷气发动机和冲压发动机。近几年来出现的火箭/冲压喷气发动机，是一种基本上属于空气喷气发动机类型的新型导弹动力装置。导弹用发动机分类如图 1-6 所示。



图 1-6 导弹用发动机分类

1. 液体火箭发动机点火

液体火箭发动机按照推进剂输送形式不同分为挤压式和涡轮泵式两类。通常，挤压式液体火箭发动机用在小型近程导弹上，而涡轮泵式液体火箭发动机则主要在大型的、中远程导弹上使用。

下面以涡轮泵式液体火箭发动机为例简述液体火箭发动机的工作原理，如图 1-7 所示。

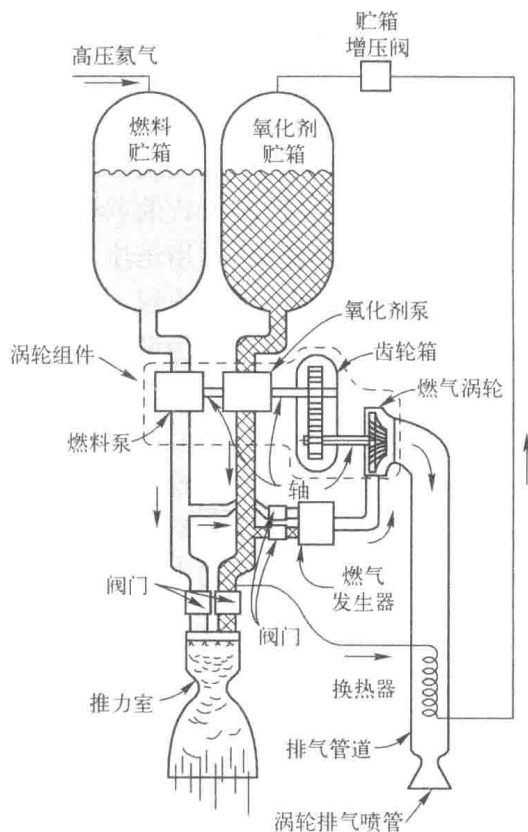


图 1-7 涡轮泵式液体火箭发动机示意图

推进剂贮箱储存着发动机工作期间所消耗的推进剂。发动机启动和正常工作过程中，推进剂供应系统不间断地将贮箱中的推进剂按照设计的压力和流量输送到推力室中去。推力室是将推进剂的化学能转化为喷气动能并产生推力的组件，它由喷注器、燃烧室和喷管组成。如果采用非自燃推进剂，在推力室内还装有点火装置。液体推进剂通过喷注器喷入燃烧室，经雾化、蒸发、混合和燃烧过程生成高温高压燃气，经喷管加速形成高速气流从喷管排出而产生推力。

发动机启动时，常用固体火药启动器为涡轮提供初始工质，发动机在持续稳定工作期间，则用和燃烧室类似的燃气发生器作为提供涡轮工质的组元，这些器件均为火工品。此外，为保证发动机按照一定的程序启动、关机、稳定工作和转变工作状态，在系统中设置了自动活门和自动调节器等组件，如启动活门、关机活门、保险活门、加泄活门、溢出活门和单向活门等，许多也都采用了基于火工品的电爆活门。

2. 固体火箭发动机点火

固体火箭发动机使用固体推进剂，推进剂被做成一定的形状装填或直接浇注在燃烧室中。推进剂（亦称装药）直接在燃烧室中燃烧，形成高温、高压燃气（燃烧产物）并从喷管喷出，产生推力。固体火箭发动机由燃烧室、喷管、药柱和点火装置等部分组成。

固体火箭发动机的药柱可以是自由装填的，即首先将推进剂按设计要求加工成一定形状的药柱装填到燃烧室内，为此需要用药柱支承装置。对于浇注推进剂的固体火箭发动机，不需要支撑装置，装药与燃烧室壁黏结在一起。图 1-8 所示的固体火箭发动机是浇注式的。

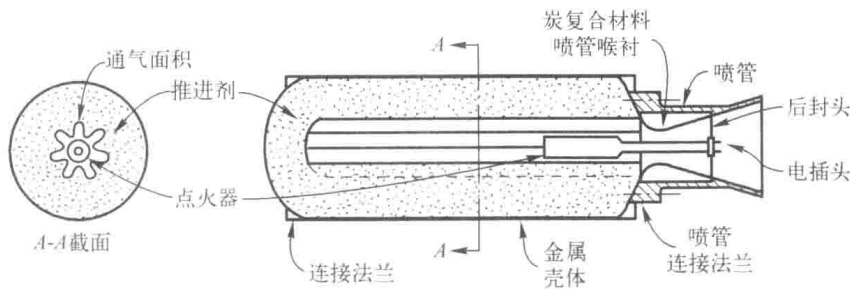


图 1-8 固体火箭发动机简图

固体火箭发动机启动点火一般是在发动机头部装一个点火装置（也称点火器），也有装在其他空隙处的。启动时，通电引燃点火器内的热敏药，热敏药再引燃加强药，加强药再引燃点火药，产生一定压强的燃气，其数值相当于主装药燃烧压强的 $1/4 \sim 1/3$ ，约为 1MPa 。点火药的燃气很快把药柱表面包围，药柱被加热并点燃。燃气经喷管膨胀，高速排出，产生推力。