

主 编：马官起

副主编：任宜勇 王金民 武玉忠

刘文生 杨炳华 付家模

增雨防雹火箭 作业系统 实用教材



气象出版社

China Meteorological Press

增雨防雹火箭作业系统实用教材

主 编 马官起

副主编 任宜勇 王金民 武玉忠
刘文生 杨炳华 付家模

气象出版社

内 容 提 要

全书共十章,主要介绍了人工影响天气增雨防雹火箭弹、发射架、发射控制器的构造、性能、工作原理、操作、维护和应用。同时讲述了火箭作业系统的技术检测,增雨防雹火箭弹的收发和运输,增雨防雹火箭弹的日常管理。为拓宽专业人员的知识面,还对常用检测工具、地面播撒装置、规章制度、业务考核及火箭发射弹道射表等进行了介绍。

本教材除供从事人工影响天气工作的管理、业务和作业人员参考外,也可供各省、市的增雨防雹火箭作业系统维修、保管等专业技术人员培训时参考。

图书在版编目(CIP)数据

增雨防雹火箭作业系统实用教材/马官起等主编. —北京:气象出版社,
2008.7

ISBN 978-7-5029-4560-2

I. 增… II. 马… III. ①人工降水-教材②防雹-教材 IV. P48

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 107352 号

Zengyu Fangbao Huojian Zuoye Xitong Shiyong Jiaocai

增雨防雹火箭作业系统实用教材

马官起等 主编

责任编辑:隋珂珂 王凤梅 李太宇 终 审:黄润恒

封面设计:王 伟 责任技编:吴庭芳

出版发行:气象出版社

出版社地址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室:010-68407112

发 行 部:010-68409198

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

版 次:2008 年 7 月第 1 版

字 数:400 千字

印 数:1~5000

邮政编码:100081

网 址:<http://cmp.cma.gov.cn>

E-mail: qxcbs@263.net

印 张:16

印 次:2008 年 7 月第 1 次印刷

定 价:40.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换

增雨防雹火箭作业系统实用教材

编 委 会

主 任：任宜勇

副主任：王金民 王心根 张建成 金卫平

侯保通 陈江平 马官起

编 委（按姓氏笔画排序）

丁瑞津	马官起	王兆宇	王友新	王利林	王金民
王雪霖	王志刚	王文新	王红岩	邓安强	孔团结
孔令文	付家模	冯诗杰	白惠君	田敬佩	申庆荣
刘兆行	刘文生	刘 萍	刘 芳	孙旭东	任宜勇
邢世魁	杨炳华	杨 坤	杨常新	陈 明	陈轶敏
陈庆忠	李玉宏	李小丽	李 念	李贇华	李建国
李昌明	杜 锋	陆洪章	张春良	张 健	
阿地里江·玉素甫		阿依努尔·克奇克			
宛 霞	武玉忠	林俊宏	范行东	范宏云	赵友红
赵全德	赵 光	姜 晔	骆兴远	施文全	郝 雷
晏 军	热苏里·阿不拉	徐万魁	徐克勤		徐永和
秦 勇	章 炜	喻 箭	薛 蔚	魏旭辉	

前 言

人工影响天气是防灾减灾、保护人民生命财产安全、合理开发利用气候资源、改善生态环境的重要科技手段。新中国成立以来,特别是改革开放以来,在党和国家的关心和重视下,在各级政府的支持下,我国的人工影响天气工作取得了显著成绩,收到了较好的社会效益、经济效益和生态效益,受到了广大人民群众欢迎和社会各界的赞誉。

进入 21 世纪以来,党的十七大提出了深入贯彻落实科学发展观,推动科学发展,促进社会和谐,为夺取全面建设小康社会新胜利而奋斗的宏伟目标。国家气象事业发展战略为我国气象事业的发展描绘了一幅宏伟的蓝图。“公共气象、安全气象、资源气象”的发展理念将引导我国气象事业进入到一个新的航程,为人工影响天气事业的发展带来新的前所未有的机遇。

火箭作业系统是人工影响天气工作中使用的重要作业装备之一。为了正确掌握火箭作业系统的使用方法和维护保养技术,确保作业安全、有效,新疆维吾尔自治区人工影响天气办公室组织编写了《增雨防雹火箭作业系统实用教材》。它对全面提高我国人工影响天气作业的技术水平具有重要的意义。

《增雨防雹火箭作业系统实用教材》由马官起、任宜勇、王金民、武玉忠、刘文生、杨炳华、付家模、陈轶敏、施文全、徐永和、冯诗杰、骆兴远、姜晔、王利林、白惠君、田敬佩、徐万魁、赵友红、王志刚、王文新、范宏云、王雪霖等同志编写。全书由冯诗杰统稿、串编。在编写过程中得到了陕西中天火箭有限责任公司、江西 9394 厂、吉林 3305 厂、内蒙古 556 厂和云南 9815 厂领导和科技人员,各省(区、市)人工影响天气办公室同行和新疆人工影响天气办公室广大干部职工大力支持和帮助,在此深表谢意。

在编写本书时我们力求使教材内容系统、结构合理、概念准确、通俗易懂,尽量能满足当前人工影响天气工作的实际需要。特请人工影响天气、火箭和弹药方面的有关专家王金星、陈志宇、孟旭、李峰、裴翀、陈光学、王铮、韩承松、陈万良、张建忠、段英、张蔷、孙建东、樊鹏、刘金根、冯永基、席新胜、李寿、胡寻伦、许长青、廖飞佳等同志对教材进行了审阅、修正和完善,在此特致感谢。

由于编写人员水平有限,加之时间仓促,资料收集不全,内容难免有疏漏之处,敬请广大读者批评指正,以便进一步修改完善。

祝愿我国人工影响天气事业健康、协调、可持续发展,为防灾减灾、缓解水资源短缺和改善生态环境做出更大的贡献。

编委会

2008 年 5 月

目 录

前 言

概 述	(1)
-----------	-----

复习题	(5)
-----------	-----

第一章 增雨防雹火箭弹	(6)
-------------------	-----

1.1 增雨防雹火箭弹的构造及原理	(6)
-------------------------	-----

1.2 火 药	(21)
---------------	------

1.3 火工品	(24)
---------------	------

1.4 增雨防雹火箭弹的标识	(28)
----------------------	------

复习题	(31)
-----------	------

第二章 增雨防雹火箭发射架	(32)
---------------------	------

2.1 火箭发射架的技术要求和技术参数	(32)
---------------------------	------

2.2 火箭发射架的用途分类及组成	(36)
-------------------------	------

2.3 火箭发射架的结构原理	(37)
----------------------	------

复习题	(47)
-----------	------

第三章 增雨防雹火箭发射控制器	(48)
-----------------------	------

3.1 火箭发射控制器的功能原理	(48)
------------------------	------

3.2 WR 系列火箭发射控制器	(49)
------------------------	------

3.3 YD 系列火箭发射控制器	(55)
------------------------	------

3.4 XR-05 系列多种弹型火箭发射控制器	(61)
-------------------------------	------

3.5 RYI 型火箭发射控制器	(64)
------------------------	------

3.6 JFJ 系列火箭发射控制器	(67)
-------------------------	------

3.7 HJD 系列火箭发射控制器	(70)
-------------------------	------

复习题	(75)
-----------	------

第四章 增雨防雹火箭作业系统的操作	(76)
-------------------------	------

4.1 增雨防雹火箭作业系统作业前的准备	(76)
----------------------------	------

4.2 火箭作业系统的操作程序及注意事项	(80)
----------------------------	------

4.3 各型号火箭作业系统的安全操作程序	(83)
----------------------------	------

4.4 火箭发射操作的注意事项及维护保养	(97)
----------------------------	------

4.5 增雨防雹火箭作业系统的故障处理	(99)
---------------------------	------

复习题	(108)
第五章 增雨防雹火箭作业系统的应用	(109)
5.1 火箭人工增雨防雹的工作原理和作业参数	(109)
5.2 火箭作业系统人工增雨防雹作业的技术方法	(112)
复习题	(120)
第六章 增雨防雹火箭作业系统的检测	(121)
6.1 增雨防雹火箭弹的检测	(121)
6.2 火箭发射架的检测	(122)
6.3 火箭发射控制器的检测	(131)
6.4 万用表的原理与使用	(141)
6.5 BP-20 型爆破网络欧姆表	(151)
复习题	(153)
第七章 增雨防雹火箭弹的收发与运输	(154)
7.1 增雨防雹火箭弹的接收与发出	(154)
7.2 增雨防雹火箭弹的装卸运输	(163)
复习题	(171)
第八章 增雨防雹火箭弹的日常管理	(172)
8.1 库存管理的任务与要求	(172)
8.2 库存增雨防雹火箭弹的堆积管理	(175)
8.3 库存增雨防雹火箭弹的防潮防热	(178)
8.4 仓库的防雷、消防、防静电、防射频及安全距离	(185)
8.5 增雨防雹火箭弹的技术检查	(189)
8.6 增雨防雹火箭弹的登记统计	(192)
8.7 报废增雨防雹火箭弹及元件的销毁处理	(195)
复习题	(201)
第九章 地面播撒装置介绍	(202)
9.1 ZY-2 型遥控地面焰条播撒系统	(202)
9.2 RYG-1 型人工增雨碘化银发生器	(206)
复习题	(210)
第十章 火箭人工影响天气规章制度及业务考核	(211)
10.1 火箭人工影响天气规章制度	(211)
10.2 火箭作业点达标考核条件	(223)
10.3 人工影响天气火箭操作技能量化考核	(226)

复习题 (229)

附 录

附表一 增雨防雹火箭弹道数据表 (230)

附表二 风力影响火箭弹飞行弹道参数修正表 (241)

参考文献 (243)

概 述

人工影响天气是人类运用现代科学技术,对局部天气过程实施影响,实现增雨、防雹、消雾、防霜等趋利避害目的的活动。目前世界上大规模开展的人工影响天气活动主要集中在增雨、防雹、消雾等几个方面。我国是世界上气象灾害频繁、干旱严重的国家之一,也是人均占有水资源较少的国家,开展人工影响天气工作,进行增雨、防雹作业,不仅是农业抗旱和防雹减灾的需要,而且也是水资源安全保障、生态建设和保护等方面的需要,是保持我国国民经济可持续发展的一个重要举措。

采用增雨防雹火箭作业系统进行人工增雨防雹作业始于 20 世纪 50 年代,前南斯拉夫和前苏联分别于 1953—1958 年和 1958—1959 年使用了最初型号的防雹火箭弹进行防雹试验,以后逐步扩大规模。到 80 年代,在这些国家防雹火箭作业系统已发展成为主要的作业工具。与此同时,在成雹机理、观测方法、催化防雹原理、效果评估,防雹火箭作业系统的设计和生方面都有了长足进步,并逐步形成了火箭—雷达作业体系。

一、人工影响天气的主要作业装备

作业装备是实现人工影响天气目标的重要手段。目前的作业装备主要有三种:(1)地面播撒装置。即采用地面烧烟的方法,靠上升气流将催化剂微粒送入云层底部。(2)飞机播撒器或焰弹发射装置。(3)火箭或高炮。其中地面播撒装置主要用于迎风坡等有上升气流的地方作业,催化剂输送高度有限,而且浪费较大;飞机由于受气象条件限制,只能用于层状云作业;而火箭和高炮不受天气条件限制,可用于积云、层状云作业,使用比较广泛。

我国于 20 世纪 70 年代后期开始使用 37 高炮进行人工增雨防雹作业,经过 30 多年的发展,形成了以 37 高炮为主的地面作业体系,增雨防雹火箭作业系统在我国人工影响天气作业中尚处于初期应用和发展阶段。和其他作业工具比较,增雨防雹火箭作业系统具有携带催化剂量大、成核率高、发射高度高、便于操作、可以进行流动作业等诸多优点,因而在全国范围内得到迅速推广和应用。

二、增雨防雹火箭作业系统的基本组成

增雨防雹火箭作业系统主要包括火箭发射架、发射控制器、增雨防雹火箭弹。

(一)火箭发射架

火箭发射架是用于发射时赋予火箭弹一定射角、射向保证火箭稳定飞行、作业目标准确的发射装置。

发射架可分为三大类:车载式发射架、地面式发射架、拖车式发射架。发射架基本组成包括定向器、升降机构、回转机构、底座等。

(二)发射控制器

发射控制器是增雨防雹火箭作业系统的组成部分,是提供火箭弹发射指令及火箭弹点火能量的设备。它能识别火箭内线路通断和检测火箭内线路电阻,并控制火箭弹的发射。发射控制器主要由电源电路、通道选择电路、指示电路、检测电路、升压电路和点火电路等组成,通过电缆线与火箭发射架相连。

发射控制器具有 3 个功能:选择装填火箭弹的发射轨道;检测火箭弹及装填火箭弹发射轨道的回路阻值;提供火箭弹点火发射所需的能量。

(三)增雨防雹火箭弹

增雨防雹火箭弹(简称火箭弹)是通过火箭发射装置发射到云层,把催化剂播撒到云中,使催化剂产生大量人工成冰核,通过催化剂的作用使雹云、降水云的微物理结构产生变化而达到增雨防雹目的的一种民用火箭弹。

1. 增雨防雹火箭弹分类

归纳目前国内增雨防雹火箭弹的特点,可以进行不同的分类:

(1)按播撒方式分有爆炸式、燃烧播撒式和焰弹式。

爆炸式:如我国最早的 JBR、JFJ-1 型号及新型的 JFJ-1A、JFJ-3 型号主要采用爆炸方式播撒,爆炸方式播撒 AgI 成核率偏低,但它具有爆炸效应。

燃烧播撒式:如 WR 系列、HJD 系列、BL 系列、RYI-6300 等型号,由于其成核率高、播撒路径长、安全可靠,是目前广泛使用的播撒方式。

焰弹式:如 WR-98Z、HJY-74 等型号,是一种新型的、高效的播撒方式,但技术难度较大。

(2)按残骸处理方式分有爆炸自毁式、降落伞式以及燃烧壳体式。

爆炸自毁式:如 BL 系列等型号,采用三炸自毁方式将壳体炸成碎片。

降落伞式:如 WR 系列、HJD 系列 RYI-6300、JFJ-3 增雨防雹火箭等型号,采用降落伞将残骸缓慢着地。

燃烧壳体式:如 9394 厂最早的型号,采用将氧化剂混入壳体组分中的办法,利用推进剂将壳体点燃,在落地前完全烧毁。

目前我国在用的增雨防雹火箭弹,主要是降落伞式和爆炸自毁式两种。

2. 增雨防雹火箭弹结构

大多数增雨防雹火箭弹基本上都由四部分组成,即尾翼、发动机、播撒舱、伞

舱(自毁装置),如图 1.1 所示。由于设计方法不同,弹体结构布局有所不同。

尾翼:是火箭弹的稳定装置,为箭体提供一定的升力。

发动机:是火箭弹的动力装置,采用固体火箭推进剂。其结构主要包括燃烧室、药柱、喷管以及点火器等。

播撒舱:是火箭弹的播撒装置,用来将 AgI 催化剂通过燃烧生成气溶胶微粒播撒入云层中以影响云的微物理结构。一般包括催化剂、壳体、喷嘴和点火器。

伞舱(自毁装置):是火箭弹的安全装置,将火箭弹残骸以较小的速度降落至地面。一般包括伞衣、舱体、开伞装置等。自毁装置则是利用雷管、炸药、烟火药爆炸将壳体炸碎。

3. 增雨防雹火箭弹工作方式

火箭弹点火升空后,弹上延时机构按要求启动催化剂播撒装置,火箭弹沿飞行弹道连续播撒催化剂,并随气流扩散,形成一条弧形催化带;催化剂播撒结束时,箭上伞舱按时打开降落伞,火箭弹残骸以较小速度安全着陆。或者自毁装置启动,将火箭弹残骸炸碎,如图 1 所示。

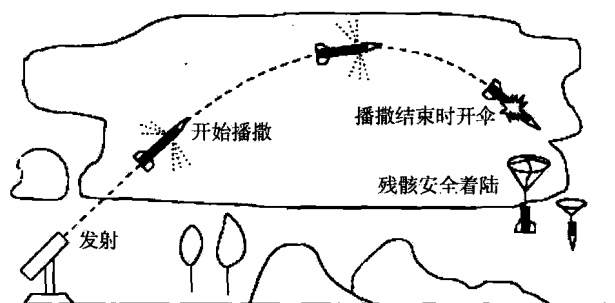


图 1 增雨防雹火箭弹工作过程示意图

三、我国增雨防雹火箭作业系统的发展概况

我国在人工增雨和防雹作业中所使用的增雨防雹火箭作业系统,大多始于 20 世纪 80 年代,如按时间序列排列,较早的产品是云南 866 厂生产的 JFJ 小火箭弹,采用爆炸播撒方式,近期云南 9815 厂又有了 JFJ-1A、JFJ-3 型的新产品,是在原来 JFJ-1 型基础上的改进产品。新型火箭作业系统的代表产品主要是 WR 系列中的 WR-1B 型增雨防雹火箭作业系统,是我国最早通过鉴定的新型增雨防雹火箭作业系统,其改型产品代号为 WR-98,随后又陆续出现了 WR-1D 型、BL-1 型、HJD-82 型、RY1-6300 型等多种增雨防雹火箭作业系统。

我国使用的增雨防雹火箭作业系统,一般分为车载和地基固定点作业两种类型。车载式火箭作业系统是将火箭发射装置装载在汽车上,所以有较好的机动

性,能够在一定的距离范围内流动作业,以达到扩大控制范围的目的。固定式地面火箭作业系统,虽然不具有易于流动的优点,但可根据不同的使用目的进行布点。在实际工作中选择车载式还是固定式,应视具体情况而定。

无论车载式还是固定式增雨防雹火箭作业系统,它们都是从地面发射装有催化剂的火箭弹,在适宜的时机发射到云中预期的部位进行播撒,以达到对云进行催化的目的。

目前,我国使用的新型火箭弹主要有 WR 系列火箭弹以及 BL 系列、HJD-82 系列、RYI-6300 型火箭弹。其中,WR 系列火箭弹以及 HJD-82 系列、RYI-6300 型火箭弹均采用在空中自动燃烧催化剂的方式进行播撒,火箭弹在云中完成作业任务后,采用降落伞回收方式徐徐降落到地面上;BL 系列火箭弹也采用在空中自动燃烧催化剂的方式进行播撒,火箭弹在云中完成作业任务后,采用三炸自毁方式将壳体炸成碎片徐徐降落到地面。而 JFJ-3 火箭弹则是爆炸播撒式火箭弹,其残骸采用降落伞回收方式徐徐降落到地面。

截至 2006 年,我国拥有各种人工增雨防雹火箭作业系统的省、自治区、直辖市和计划单列市已经达到 35 个,累计拥有火箭发射装置 4991 部,每个省区平均达到 143 部。其中新型火箭发射装置达到 3540 部,其他类型火箭发射装置 1451 部。全国用于人工影响天气作业的火箭弹,年消耗总量已经达到 74372 枚,其中用于人工增雨作业的火箭弹消耗量为 37623 枚,用于防雹作业的火箭弹总量达到 36749 枚。

与国际上同类工作比较,我国目前广泛开展的火箭弹人工增雨、防雹活动,不仅具有作业规模大的显著特点,而且具有作业目的需求向更多的领域发展的趋势。

四、增雨防雹火箭作业系统发展趋势展望

综合国内外火箭作业系统的研究及应用情况,结合我国人工影响天气事业的发展趋势,增雨防雹火箭作业系统的发展方向可以概括如下:

(一)火箭作业系统的应用将越来越多。由于火箭作业系统采用燃烧播撒,具有成核率高、播撒路径长、用弹量少、操作维护简单等优点,火箭作业系统的发展呈逐年上升趋势,应用将越来越多。

(二)射高系列化。由于不同地区云层高度不同,对火箭弹的射高要求不一。高海拔地区要求射高在 5~6 km,而低海拔地区射高要求在 8~10 km,而且同一次作业的不同阶段对射高的要求也不同。因此射高系列化将是增雨防雹火箭作业系统发展的必然趋势。

(三)品种多样化。不同的作业目的、不同的作业情况,对火箭弹的个性化要

求在逐步增多。如对雹云的催化,希望能加入爆炸效应,而对层状云的催化,希望火箭弹的弹道更长,这些要求都促进了火箭设计的多样化。

(四)播撒方式多样化,如抛射焰弹等。实验风洞研究得出,当火箭飞行速度大于 100 m/s 时,活性冰核生成率将大大下降,前苏联“晶体”火箭弹成功地解决了这个问题,它采用抛出焰弹的方式播撒,焰弹在下落过程中以自由落体速度下降,其速度小于 50 m/s ,成核率达到或接近实验室静态试验的水平。因此焰弹式播撒是发挥催化剂性能的最好方式之一。

(五)暖云的催化将提上议事日程。目前火箭的作业云体主要是冷云,但是在我国南方地区,缺水正成为制约经济发展的瓶颈,对暖云的催化也日益受到重视。目前对暖云的催化主要是采用飞机播撒吸湿性巨核,还没有火箭作业工具。随着暖云催化剂技术以及催化理论研究的进展,用火箭弹催化暖云是必然的趋势。

(六)火箭—雷达—计算机相结合的自动化增雨防雹作业体系。目前,全国 60% 以上的地面作业站点实现了利用天气雷达实时指挥,明显减少了作业的盲目性,显著提高了作业的科学性。随着作业技术的不断发展,科学、准确地指挥作业已经成为可能。利用雷达实时观测,将观测资料输入计算机,计算机根据专家系统的判断下达作业方位、作业时机及用弹量的命令。作业人员只需操纵计算机就可完成火箭弹发射将会在不远的将来实现。

复 习 题

1. 目前人工影响天气的作业方法主要有哪些?
2. 增雨防雹火箭作业系统由哪几部分组成?
3. 增雨防雹火箭弹通常都由哪几部分组成?
4. 增雨防雹火箭作业系统有哪些发展趋势?

第一章 增雨防雹火箭弹

增雨防雹火箭弹(以下简称火箭弹),是指通过专用发射装置将催化剂播撒到云中,通过催化剂的作用使雹云、降水云的微物理结构产生变化因而达到增雨防雹目的的一种民用火箭弹,与气象雷达及天气监控系统配套,可实施人工增雨、防雹等作业,是目前人工影响天气新一代理想的作业工具。

火箭弹与炮弹最大的不同在于火箭弹自身带有推进动力装置,即火箭发动机,而不是靠膛压将弹丸发射出去,与炮弹相比具有以下几个特点:

一是由于自身携带发动机,可以达到较高的速度和较远的射程。而火炮受使用寿命及机动性限制,火炮发射的弹丸很难达到很高的炮口速度,从而使射程受到较大限制。

二是发射时作用在发射装置上的力小,发射装置轻便灵活。火炮发射弹丸时,由于膛压高,作用在炮架上的后座力很大,使得炮架结构笨重,机动性差。而火箭弹在发射过程中发射架基本不受力的作用,因此火箭发射装置结构尺寸小,重量轻。

火箭弹属于危险爆炸物品,为了完成不同的功能,产品中使用了多种火工品,有一定危险性。因此,我们应该学习了解它们各自的构造和性能,掌握其特点,正确使用和保管,以充分发挥火箭弹应有的作用,保证安全。

1.1 增雨防雹火箭弹的构造及原理

一、增雨防雹火箭弹简介

一般的增雨防雹火箭弹基本上都由四大部分组成,即发动机、播撒舱、伞舱(自毁装置)、尾翼,如图 1.1 所示。以 WR-98 增雨防雹火箭弹为例,其作用过程为:火箭弹接受点火电信号时,发动机点火器点火,将推进剂点燃,火箭升空,焰剂点火具和伞舱延期管也同时点火,焰剂点火具为延期点火具,延时 7~9 秒后将焰剂点燃,焰剂燃烧产生的 AgI 气溶胶从喷嘴喷出,焰剂燃烧结束时,延期管将开伞机构中开伞药点燃,开伞药燃烧产生的气体推动活塞向前运动将伞舱壳体打开,伞衣张开拖曳火箭弹残骸安全降落。

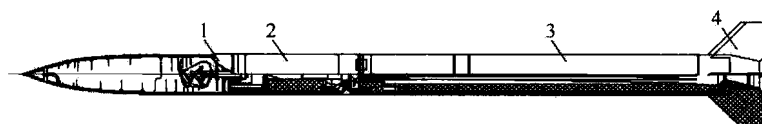


图 1.1 增雨防雹火箭弹基本结构

1. 伞舱 2. 播撒舱 3. 发动机 4. 尾翼

（一）发动机

火箭发动机是指自带推进剂，由反作用喷射流而获得推力的喷气推进系统。火箭发动机分为固体火箭发动机和液体火箭发动机，推进剂为固态的称为固体火箭发动机，推进剂为液态的称为液体火箭发动机，增雨防雹火箭弹所用发动机一般为固体火箭发动机。固体火箭发动机主要由燃烧室、固体推进剂药柱、喷管、点火装置等部分组成。一个典型的固体火箭发动机结构如图1.2所示。

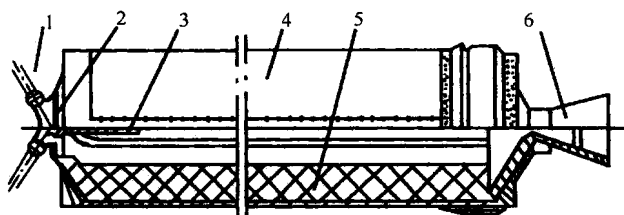


图 1.2 典型的固体火箭发动机

1. 导线 2. 前顶盖 3. 点火器 4. 燃烧室 5. 药柱 6. 喷管

1. 燃烧室

固体火箭发动机的燃烧室是一个用来装填推进剂药柱使之在其内进行燃烧的容器，对于贴壁浇铸的药柱，燃烧室通常由壳体、绝热层和衬层组成；对于自由装填的药柱，燃烧室是带有绝热层的一个壳体。燃烧室壳体主要承受发动机工作时的内压，当药柱在燃烧室中燃烧时，将产生大量的高温高压燃气，燃烧室内燃气压力主要取决于推进剂的性质、燃烧面积、药柱的燃烧速度和喷管喉部面积的大小。以增雨防雹火箭常用的双基火药作为能源的固体火箭发动机为例，燃烧室内的温度一般可达 2500 K (2227°C) 左右，火箭弹燃烧室内燃气压一般在 $7\sim 30\text{ MPa}$ ($70\sim 300$ 个大气压)，同时，燃烧室壳体作为弹身的一部分，还要承受外载荷的作用。因此，燃烧室壳体应满足以下要求：

- 一是有足够的强度和刚度；
- 二是结构重量要轻；
- 三是结构设计合理，连接可靠，气密性好；
- 四是工艺性好，容易加工制造；

五是材料来源丰富。

可用作壳体的材料有金属(主要是碳钢、合金钢和合金铝)和纤维(玻璃纤维/环氧树脂和有机纤维/环氧树脂)增强复合材料。

(1) 金属壳体

金属是小型固体火箭发动机壳体常采用的材料,主要有高强度钢和合金铝。金属壳体由筒段和前、后封头组成。一般封头呈半球形或半椭球形;小型发动机的前封头可以做成平板的,以螺纹与筒体连接;而后封头则与喷管一体,直接以螺纹与筒体连接。为了保证燃烧室壳体能够承受储存、运输、发射和飞行过程中遇到的各种内、外载荷的作用,需对壳体进行应力分析和强度校核。图 1.3 为几种典型的发动机壳体示意图。

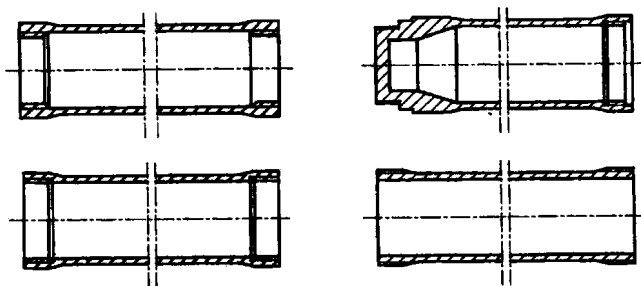


图 1.3 典型的发动机壳体结构

(2) 纤维增强复合材料壳体

纤维增强复合材料壳体,一般分为两种结构:一种是用玻璃纤维布浸胶后在芯模上卷制的复合材料壳体,它与金属壳体结构基本相同;另一种纤维增强复合材料壳体是采用玻璃纤维、芳纶纤维或其他高强度纤维浸渍树脂在芯模上缠绕而成。缠绕主要采用螺旋缠绕、环(周)向缠绕和混合缠绕工艺,如图 1.4 所示,其中螺旋缠绕可以赋予壳体轴向强度和环向强度,轴向强度和环向强度的分配比例由螺旋缠绕角(纤维的缠绕方向与壳体轴线的夹角)确定,而环向缠绕只能赋予壳体环向强度,为了使环向和轴向强度均等,通常采用螺旋缠绕与环(周)向缠绕按一定厚度比例缠绕的混合缠绕工艺。燃烧室的封头和喷管可以在缠绕时一起缠绕进去。

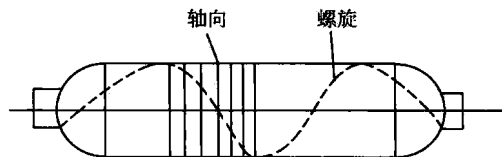


图 1.4 壳体缠绕方法示意图