

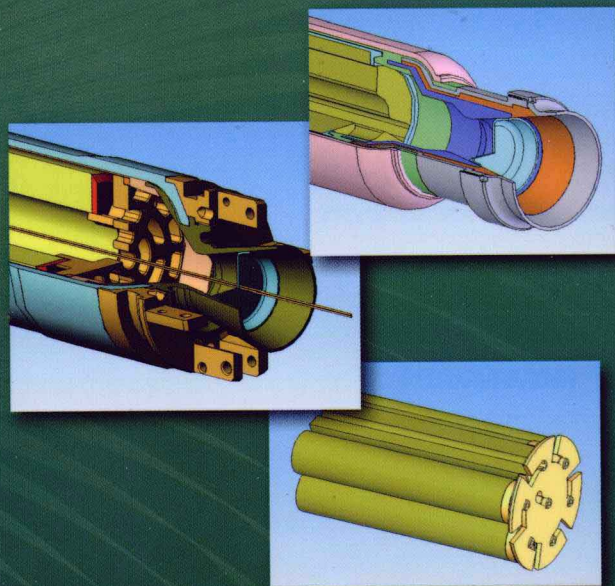


国防科技图书出版基金

Solid Propellant Charge Design

固体推进剂 装药设计

覃光明 卜昭献 张晓宏 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press



固体推进剂装药设计

Solid Propellant Charge Design

覃光明 卜昭献 张晓宏 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

固体推进剂装药设计/覃光明,卜昭献,张晓宏编著.

—北京:国防工业出版社,2013.4

ISBN 978-7-118-08624-9

I. ①固... II. ①覃... ②卜... ③张... III. ①固体推进剂—推进剂装药—设计 IV. ①V435

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第044098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)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 15¼ 字数 275 千字

2013年4月第1版第1次印刷 印数 1—2000册 定价 85.00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

致读者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。
4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给

予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金

评审委员会

国防科技图书出版基金 第七届评审委员会组成人员

主任委员 王 峰

副主任委员 吴有生 蔡 镭 杨崇新

秘 书 长 杨崇新

副 秘 书 长 邢海鹰 贺 明

委 员 (按姓氏笔画排序)

才鸿年	马伟明	王小谟	王群书	甘茂治
甘晓华	卢秉恒	巩水利	刘泽金	孙秀冬
陆 军	芮筱亭	李言荣	李德仁	李德毅
杨 伟	肖志力	吴宏鑫	张文栋	张信威
陈良惠	房建成	赵万生	赵凤起	郭云飞
唐志共	陶西平	韩祖南	傅惠民	魏炳波

前言

Preface

装药设计是固体推进剂发动机和其他固体动力推进装置的重要设计内容。其设计的理论依据已有专业教程和有关专业书籍作了详尽的叙述,并已被固体推进剂发动机设计人员广泛使用。本书编著者总结多年从事固体推进剂发动机产品设计、研制的经验和体会,借鉴相关理论,从工程设计和使用的角度,对固体推进剂装药设计的步骤、内容和方法,根据产品不同研制阶段进行了划分,阐述各自需完成的设计和修改等内容。

本书共分8章。第1章重点叙述装药设计的依据,主要性能参数和指标,并将制定合适的装药技术要求作为设计和研制装药的首要内容。第2章根据装药技术要求和不同的装药形式,阐述合理选用推进剂的重要性。第3章结合较典型的药形计算,介绍几种常用的计算程序,给出人机交互界面和计算方法;对复杂药形,给出三维绘图方法和计算结果。第4章除采用工程计算方法计算装药性能外,重点以实例计算的形式,提出装药装填设计,相关性设计和高装填密度装药设计等思路和方法,为固体推进剂发动机性能设计和功能设计提供新的参考。第5章强调合理制定装药包覆技术要求的重要性,介绍了低特征信号包覆的试验测试方法。第6章重点介绍几种特种药形装药的形式和采用三维绘图法的设计结果。第7章介绍轻质高强纤维复合材料壳体的强度设计与典型结构,重点介绍带药进行纤维缠绕成形整体式发动机装药的设计特点,结合实例说明这种新型装药结构对提高发动机推进效能的实用价值。第8章给出装

药交付和验收的依据,制定制造验收规范的主要内容;装药检验与验收有关技术文件的编写,以及装药生产前,对推进剂性能检验的重要性及保证推进剂性能的技术措施等。

本书由王宁飞研究员、李尚文研究员、鲍福廷教授、王春利教授等专家审阅,在此,谨向他们表示诚挚的感谢。

鉴于编著者水平有限,书中一定会有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编著者于西安

2013 年 1 月

符 号 含 义

a, b ——常数

α_p ——压强温度敏感系数

A_t ——喷喉截面积

A_e ——喷管出口面积

A_{st} ——药柱的横截面面积

A_p ——药柱端面面积

A_{np} ——通气面积

$A_{np内}$ ——内通气面积

$A_{np外}$ ——外通气面积

A_{np0} ——总通气面积

c ——裕度系数

C^* ——特征速度

C_F ——推力系数

C_D ——流量系数

C_p ——定压比热

C_{pcp} —— $T_c - 298$ 温度范围平均定压比热

D_c ——燃烧室内径

D_p ——药柱外径

e^* ——星边消失时的燃层厚

e ——瞬时燃层厚

E_1 ——总燃层厚

F, F_{cp} ——平均推力

G ——秒流量

G_0 ——总流量, 所消耗推进剂的总质量

H ——轮臂高度; 包覆层厚度

- $H_{T,i}^0$ ——第 i 种产物的标准热焓
 H_e ——燃烧产物的焓
 H_T ——1kg 推进剂燃烧产物总热焓
 H ——锁形药形的锁孔中心距
 I_{sp} ——比冲
 I_o ——总推力冲量
 i ——瞬时值
 J ——喉通比
 k ——比热比;侵蚀常数
 k_1 ——余量系数
 k_v ——侵蚀系数
 K_N ——燃烧面与喷喉面积比
 L_c ——燃烧室长度
 L_p ——药柱长度
 L ——特征长度;锁形面宽度
 L_1 ——扁头中心距
 L_m ——开槽长度
 m_c ——点火前后发动机质量差
 m ——梅花瓣数(圆弧数)
 M ——推进剂千克摩尔数
 $S_b(i)$ ——瞬时燃烧面
 n ——压强指数;燃烧产物的千克摩尔数;星角数;轮臂数;开槽数。
 n_i ——第 i 种产物的摩尔数
 n_p ——管状药柱的根数
 P_c ——燃烧室平均压强
 P_e ——喷管出口压强
 P_a ——环境大气压强
 Q_p ——定压爆热
 ρ_p ——推进剂密度
 r ——顶圆角边过渡圆弧半径
 r_1 ——星根圆半径;轮臂角圆弧半径;小圆外半径
 r_2 ——轮臂圆弧半径



R^0 ——通用气体常数

R_c ——燃烧产物的气体常数

R ——锁形药形大圆外半径

rr ——大圆内半径

rr_1 ——小圆内半径;内圆弧根半径

R_{pl} ——外圆弧半径

Rr ——内圆弧顶半径

S_b ——装药燃烧面

$S_{b外}$ ——外表面燃烧面积

$S_{b内}$ ——内表面燃烧面积

S_{bo} ——总燃烧面积

S_{scp} ——周边长平均值

S ——燃烧产物在温度 T , 压强 p 状态下总熵

S_e ——燃烧产物的熵

$S_{g,T}$ ——气相产物的熵

$S_{c,T}$ ——凝聚相产物的熵

t_a ——工作时间

t_b ——燃烧时间

T_e ——定压燃烧温度

T_k ——喷管出口温度

u ——燃速

u_e ——燃气在喷管出口处速度

u_1 ——燃速温度系数

U_T ——温度为 T (°K) 时, 1kg 推进剂燃烧产物总内能

v ——燃气流速

v_{lj} ——临界流速

V_P ——装药体积

V_C ——燃烧室容腔容积

W_p ——推进剂质量

X ——1/2 槽宽

Γ ——为气体常数

ξ_1 ——比冲效率

- ξ_c ——燃烧室效率
 ξ_N ——喷管效率
 α ——通气参量
 α_1 ——综合通气参量
 α_{lj} ——为临界通气参量
 $\alpha_{内}$ ——内通气参量
 $\alpha_{外}$ ——外通气参量
 α_o ——总通气参量
 θ ——星边夹角;轮臂角
 ε ——角度系数;侵蚀比
 ξ ——截面装填系数
 ξ_v ——体积装填系数
 ζ ——装填密度
 $\delta\%$ ——所选包覆材料的线性烧蚀率
 μ ——吸收系数
 $\mu_{水}$ ——水的吸收系数
 $\mu_{空气}$ ——空气的吸收系数

纤维缠绕复合材料符号

- A ——1束纤维的横截面积
 D ——薄壁圆筒直径
 D_θ ——螺线缠绕层所占圆筒部位的直径
 f ——每束纤维的断拉力
 L_x ——1g质量纤维的长度
 J ——纵向缠绕总循环数
 K ——环向缠绕总层数
 m_g ——选定支数的纤维质量
 M ——每个循环(J)螺旋缠绕中,两层的总纱带数
 m ——环向缠绕层纱带密度
 N_2 ——螺旋缠绕中,每条纱带的纤维束数
 N ——纤维股数
 N_1 ——环向缠绕层中,每条纱带的纤维束数

- P ——圆筒承受的内压
 r ——封头曲面上平行圆半径
 R_t —— r 处的主曲率半径
 R_L —— r 处的第二曲率半径
 S ——纤维的抗拉强度
 S_n ——壳体环向应力
 S_L ——壳体轴向应力
 S'_n ——环向缠绕纤维应力
 $S_{\theta n}$ ——螺旋缠绕纤维应力的环向分量
 $S_{\theta L}$ ——螺旋缠绕纤维应力的轴向分量
 S ——1 束纤维的拉伸应力
 t_n ——环向缠绕纤维层厚度
 t ——薄壁圆筒环壁厚
 t_L ——圆筒段纵向缠绕层厚度
 t_θ ——圆筒段螺旋缠绕层厚度
 θ ——圆筒段螺旋缠绕角
 θ_c ——封头曲面上 r 处纤维与子午线的夹角
 ρ_s ——纤维的密度

推进剂及材料缩写

- AP——高氯酸铵
 AN——硝酸铵
 BTTN——丁三醇三硝酸酯
 BBP——苯二甲酸二丁酯
 CTPB——端羧基聚丁二烯
 CMDDB——复合改性双基推进剂
 DEGN——硝化二乙二醇
 DNP——苯二胺
 DINA——吉纳
 DEP——苯二甲酸二乙酯
 DOP——苯二甲酸二辛酯
 HTPB——端羟基聚丁二烯

HMX——奥克托今
NG——硝化甘油
NC——硝化棉
NEPE——高能硝酸酯增塑聚醚
PS——聚硫橡胶
PVC——聚氯乙烯
PU——聚氨酯粘合剂
PBAA——聚丁二烯丙烯酸
PEG——金属有机聚合物(聚乙二醇)
RDX——黑索金
TMETN——三羟甲基乙烷三硝酸酯
TEGDN——三乙二醇二硝酸酯
TA——甘油三醋酸酯
XLDB——交联改性双基推进剂



术 语 说 明

1. 适用压强范围

是指推进剂的综合性能得到充分发挥的压强范围。常指装药技术要求中,需能满足装药弹道性能指标参数要求的压强范围。

2. 组合装药

是指采用不同燃速推进剂和不同药形,不同燃速推进剂和相同药形,相同燃速推进剂和不同药形相组合的整体装药。该装药在单一的燃烧室内燃烧,可产生多级推力。

3. 分立组合装药

是指由多级推力组合装药与单级推力装药分别独立组装的装药。该装药在单一的燃烧室内燃烧,可产生多级推力。

4. 等截面药形

是指药柱横截面的形状及截面面积沿药柱轴向不变的药形。该药形药柱可采用螺压工艺成形。

5. 变截面药形

是指药柱的横截面形状及截面面积沿药柱轴向按一定规律变化的药形。该药形药柱需采用浇铸工艺成形。

6. 装填设计

是指发动机设计中,对装药装填结构和装填性能进行的设计。

7. 装填结构设计

主要是围绕装药的安装与定位,装药的缓冲、密封、尺寸和温度补偿等结构进行设计,使装药满足发动机各种受力要求。

8. 装填性能设计

指对装药装填性能进行合理的设计,在保证所需装药量的条件下,将发动机装填参量设计在合适范围内。

9. 装填参量

主要指发动机装药的容积装填密度、通气参量(α 值)、喉通比(J 值)、综合通气产量(α_1 值)。

10. 高装填密度装药设计

高装填密度装药设计,也属于装药装填性能设计的范畴。在燃烧室有效的容积内,通过装药设计,使发动机的装填密度最大。

11. 饱和设计状态

指高装填密度装药设计中,发动机的装填密度接近临界值,或通气参量接近推进剂的临界值,将这种装填设计状态称饱和设计状态。

12. 相关性设计

指装药燃烧面积随燃层厚度的变化及所选推进剂燃速随压强的变化,与燃烧室压强随燃烧时间变化的相关性,通过相关性设计使发动机推力随时间变化符合推力方案要求。

13. 推进强度

将推进剂燃速与装药药柱燃烧面积的乘积 $u \cdot s_b$,称为推进强度,是改变和影响发动机推力大小最活跃的组合参数。

14. 交付比冲

也可称密度比冲,是指推进剂比冲与推进剂药柱密度的乘积 $I_{sp} \cdot r_p$ 。交付比冲越大,发动机推进效能越高。

15. 质量比

是指固体推进剂发动机(或推进装置)装药药柱的质量与发动机总质量之比。

16. 冲量质量比

是指固体推进剂发动机(或推进装置)推力冲量与发动机总质量之比。

17. 推力质量比

指固体推进剂发动机(或推进装置)平均推力(最大推力)与发动机总质量之比。

18. 推力比

是指单室多推力发动机各级间平均推力之比。一般,以续航级或推力最小的那一级平均推力为1,其他各级平均推力与这一级平均推力之比,为相应各级

的推力比。

19. 最大推力比

指平均推力最大的那一级与平均推力最小的那一级平均推力(一般是续航级)之比,该参数所表征的性能只是多推力发动机推力容量的大小,属于设计参数,不是表征发动机推进效能高低的设计质量参数。

20. 临界推力比

单室多推力发动机的续航级或最小推力级,燃烧室低温下最小压强接近续航推进剂的临界压强,而发射级高温最大压强接近发射级推进剂适用压强的上限,该发动机的最大推力比已达到最大值。将该推力比称为临界推力比。

21. 带药缠绕

是指纤维缠绕工艺中,以装药为缠绕模芯,或模芯的一部分,在装药包覆层外成形一层隔热层后,进行纤维缠绕,构成与装药一体的复合材料发动机壳体。除贴壁浇铸装填形式外,是装药与发动机壳体无间隙装填的另一种装填形式。

22. 特种装药

是指用于特殊用途发动机的固体推进剂装药。发动机的结构形式,药形结构及提供动力推进形式与导弹发动机通用装药都有较大的差别。