



فناوری پیشرانس راکت جامد

جلد دوم

مؤلف:

آلن داواناس

مترجمان:

دکتر محمدرضا سویزی

مهندس محمدمهدی کلیدری

مهندس مهدی میرزایی فرد

دکتر نگار ذکری



۱۳۹۹

عنوان و نام پدیدآور: فناوری پیشرانش راکت جامد/مولف [صحيح : ویراستار] آلن داواناس ؛ مترجمان محمدرضا سویزی...[و دیگران].

مشخصات نشر: تهران: شرکت هوافضای برآ، انتشارات هوانورد، ۱۳۹۹
مشخصات ظاهری: ج.

شابک: ج. ۱: 978-622-965025-7 ؛ ج. ۲: 978-622-965027-1

وضعیت فهرست نویسی: فیبا

یادداشت: عنوان اصلی: Technologie des propergols solides.

یادداشت: کتاب از نسخه انگلیسی با عنوان Solid rocket propulsion technology به فارسی ترجمه شده است.

یادداشت: مترجمان محمدرضا سویزی ، مهدی میرزایی فرد ، محمدمهدی کلیدری ، نگار ذکری.

یادداشت: چاپ قبلی: اندیشگاه فناوری‌های نوین، انتشارات، ۱۳۹۶ -

موضوع: موشک‌های سوخت جامد

موضوع: Solid propellant rockets

شناسه افزوده: داونا، آلن، ویراستار

شناسه افزوده: Davenas, Alain

شناسه افزوده: سویزی، محمدرضا، ۱۳۵۰ - ، مترجم

رده بندی کنگره: ۳ / ۷۸۳ TL

رده بندی دیویی: ۶۶۲ / ۲۶

شماره کتابشناسی ملی: ۶۲۰۹۲۴۷



عنوان کتاب: فناوری پیشرانش راکت جامد (جلد دوم)

تالیف: آلن داواناس

ترجمه: دکتر محمدرضا سویزی، مهندس مهدی میرزایی فرد

مهندس محمدمهدی کلیدری، دکتر نگار ذکری

ناشر: هوانورد

نوبت چاپ: اول

سال چاپ: ۱۳۹۹

شمارگان: ۵۰۰

شابک: ۱-۷-۹۶۵۰۲-۶۲۲-۹۷۸

شابک دوره: ۴-۶-۹۶۵۰۲-۶۲۲-۹۷۸

چاپ و صحافی: نوبخت

قیمت: ۶۱۰۰۰۰ ریال

◀ کلیه حقوق چاپ برای ناشر محفوظ است. نقل مطالب فقط با ذکر مشخصات کامل کتاب و با اشاره به نام ناشر مجاز است.

◀ برای تهیه این کتاب می‌توانید به وبگاه www.aeroshop.ir مراجعه کنید؛

یا با شماره تلفن ۷۷۸۵۰۲۵۹ - ۰۲۱ تماس حاصل فرمائید.

فهرست مطالب

مقدمه ۱۱

فصل هفتم - خواص ایمنی پیشرانه‌های جامد و خطرات موتورهای موشک سوخت جامد ۱۳

- ۱- مقدمه ۱۴
- ۲- بررسی اجمالی خطرات موشک‌های سوخت جامد ۱۴
- ۳- رفتارهای پیروتکنیکی پیشرانه‌های جامد ۱۵
- ۳-۱- رفتارهای تجزیه ای پیشرانه‌های جامد ۱۵
- ۳-۲- حساسیت پیشرانه‌ها به محرک‌های متفاوت ۲۵
- ۴- برآورد خطرهای موجود در گرین‌های پیشرانه ۳۲
- ۴-۱- روش‌های نظارتی ۳۲
- ۴-۲- برآورد تجزیه ای ۳۶

فصل هشتم - گروه‌های اصلی و کاربرد پیشرانه‌های جامد ۴۱

- ۱- مقدمه ۴۲
- ۲- استفاده در مراحل پیشرانش موشک‌ها و یا پرتابه‌های فضایی ۴۴
- ۲-۱- مقایسه کارایی پیشرانه‌های صنعتی ۴۵
- ۲-۲- مقایسه خواص مکانیکی و فیزیکی ۴۹
- ۲-۳- مقایسه بین اثر دود و خواص اثر دود ۵۵
- ۲-۴- مقایسه بین فرآیندهای ساخت و هزینه ها ۵۷
- ۲-۵- خواص ایمنی و آسیب پذیری ۶۰
- ۳- پیشرانه اضافی برای توپخانه ۶۴
- ۳-۱- اساس کاهش مقاومت اصلی ۶۵
- ۳-۲- تعیین مشخصات عملکردی برای مولد گاز BASE-BLEED ۶۶
- ۳-۳- پرتابه‌های راکتی ۶۷
- ۴- مولدهای گازی و کاربردهای مختلف آنها ۶۷
- ۵- ترکیبات پیروتکنیکی و پیشرانه‌ها برای سیستم اشتعال ۷۰
- ۵- ترکیبات پیروتکنیکی گرانولی یا گلوله‌ای ۷۲
- ۵-۱- فرمولاسیون، کامپوزیت و خواص مخلوط‌های پیروتکنیکی ۷۲

۷۴	۲-۵- فرآیندهای ساخت
۷۵	۶- از تولید آزمایشگاهی به تولید صنعتی
۷۵	۶-۱- اطلاعات عمومی
۷۷	۶-۲- مدیریت برنامه ریزی
۷۹	۶-۴- اهمیت فاز تحقیقات
۸۱	۶-۵- توسعه پیشرفته و الگوهای توسعه اکتشافی

۸۳ فصل نهم - پیشراندهای دوپایه

۸۴	۱- مقدمه
۸۵	۲- ترکیبات و مواد خام
۸۵	۲-۱- نقش یا وظیفه اجزاء
۸۸	۲-۲- خواص مواد خام
۹۲	۳- فرآیند تولید
۹۲	۳-۱- یادآوری نقش اصلی فرآیند
۹۹	۳-۳- فرآیندی تولیدی پیشراندهای دوپایه ریخته‌گری (CDB)
۱۰۷	۴- خواص پیشراندهای دوپایه
۱۰۷	۴-۱- خواص فیزیکی شیمیایی
۱۰۹	۴-۲- خواص مکانیکی
۱۱۰	۴-۳- خواص سینتیکی
۱۱۳	۴-۴- خواص انرژی زایی
۱۱۵	۵- خواص عملیاتی
۱۱۵	۵-۱- اثر دود
۱۱۷	۵-۲- ناپایداری‌های احتراق
۱۲۰	۵-۳- سوزش فرسایشی
۱۲۱	۶- پایداری شیمیایی
۱۲۱	۶-۱- کلیات
۱۲۲	۶-۲- آزمون‌ها
۱۲۵	۶-۳- پارامترهای اثرگذار بر روی پایداری شیمیایی
۱۲۵	۷- کهولت
۱۲۶	۷-۱- مصرف پایدارکننده
۱۲۶	۷-۲- کهولت و ترک خوردگی ناشی از آن
۱۲۷	۷-۳- کهولت بالستیکی و مکانیکی

- ۸- خواص ایمنی..... ۱۲۷
- ۸-۱- ایمنی و سمیت اجزاء تشکیل دهنده..... ۱۲۷
- ۸-۲- تمایل ذاتی به اشتعال ۱۲۸
- ۸-۳- توانایی انفجار ۱۲۹

فصل دهم - پیشرانده‌های کامپوزیتی ۱۳۳

- ۱- مقدمه..... ۱۳۴
- ۲- فرمولاسیون پیشرانده‌های کامپوزیتی ۱۳۵
- ۱-۲- بایندر ۱۳۶
- ۲-۲- جامدات ۱۵۰
- ۳- روش‌های ساخت و کنترل کیفی..... ۱۵۶
- ۱-۳- عملیات مخلوط‌سازی..... ۱۵۶
- ۲-۳- ریخته‌گری گرین‌ها ۱۵۹
- ۳-۳- دمای پخت و عملیات تکمیلی ۱۶۶
- ۳-۴- تأثیر مرحله ساخت بر خواص احتراقی و یکپارچگی ساختاری گرین‌های پیشرانه ۱۶۸
- ۳-۵- کنترل کیفی ۱۷۰
- ۴- خواص پیشرانده‌های کامپوزیتی..... ۱۷۷
- ۱-۴- ویژگی‌های اشتعال و انرژی ۱۷۷
- ۲-۴- خواص مکانیکی ۱۷۹
- ۳-۴- کهولت (پیرشدگی) پیشرانده‌های کامپوزیتی ۱۸۲
- ۴-۴- ویژگی‌های ایمنی و رفتار پیروتکنیک..... ۱۸۳

فصل یازدهم- پیشرانده‌های پیشرفته حاوی بایندر پرا انرژی ۱۹۳

- ۱- مقدمه..... ۱۹۴
- ۱-۱- تعریف خانواده پیشرانده‌های بایندر پر انرژی پیشرفته ۱۹۴
- ۲-۱- مزایای پیشرانده‌های بایندر پر انرژی پیشرفته ۱۹۴
- ۲- مواد خام ۱۹۵
- ۱-۲- مقدمه ۱۹۵
- ۲-۲- اجزاء بایندر ۱۹۶
- ۳-۲- پرکننده‌ها ۲۰۲
- ۴-۲- افزودنی‌های مختلف ۲۰۴

- ۳- فرآیند ساخت ۲۰۵
- ۳-۱- اصول ساخت پیشرانه‌های بایندر پرانرژی پیشرفته ۲۰۵
- ۳-۲- فرآیند ساخت پیشرانه‌های CMCDB ۲۰۶
- ۳-۳- فرآیند ساخت پیشرانه‌های پرانرژی (XLDB-NEPE) ۲۰۹
- ۴- تعیین خواص پیشرانه‌های بایندر پرانرژی پیشرفته ۲۱۴
- ۴-۱- خواص فیزیکی و فیزیکی شیمیایی ۲۱۴
- ۴-۲- خواص مکانیکی ۲۱۷
- ۴-۳- سرعت سوزش پیشرانه‌های بایندر پرانرژی پیشرفته ۲۲۴
- ۴-۴- خواص انرژی ۲۲۷
- ۴-۵- خواص عملکردی ۲۲۹
- ۴-۶- کپولت ۲۳۳
- ۴-۷- خواص ایمنی ۲۳۷

فصل دوازدهم- پیشرانه‌ها برای سیستم‌های راکت رمجت یکپارچه ۲۴۵

- ۱- مقدمه ۲۴۶
- ۲- پیشرانه‌های جامد غنی از سوخت ۲۵۱
- ۲-۱- انتخاب اجزای اصلی قابل احتراق ۲۵۱
- ۲-۲- انتخاب نوع ترکیب ۲۵۷
- ۲-۳- کارایی انرژی تئوری ۲۵۹
- ۲-۴- خصوصیات کلی پیشرانه‌های غنی از سوخت متعدد ۲۶۰
- ۳- بوسترهایی برای راکت رمجت‌های یکپارچه ۲۶۹

فصل سیزدهم - عایق‌های حرارتی، آسترها و بازدارنده‌ها ۲۷۵

- ۱- مواد بازدارنده و عایق‌های حرارتی در پیشرانش جامد ۲۷۶
- ۲- زمینه قبلی ۲۷۷
- ۲-۱- مشخصات مواد عایق‌کننده ۲۷۷
- ۲-۲- اطلاعات تئوری لازم برای طراحی مواد عایق‌کننده ۲۷۸
- ۲-۳- تعیین خواص عملکردی پیوندی مواد عایق‌کننده ۲۸۷
- ۲-۴- بهینه‌سازی مواد عایق‌کننده ۲۸۸
- ۲-۵- شکست‌هایی که بیشتر اتفاق می‌افتند ۲۸۸
- ۲-۶- بررسی کیفیت پیوندها ۲۸۹

- ۳- مواد عایق کننده فرآیندی ۲۹۰
- ۳-۱- فرآیند بازدارنده گرین‌های کارتریجی (آزاد)..... ۲۹۰
- ۳-۲- فرآیند تهیه بدنه برای گرین‌های متصل به بدنه ۲۹۰
- ۴- مثالی از مواد عایق کننده استفاده شده در سیستم پیشرانش موشک ۲۹۴
- ۴-۱- مواد عایق کننده برای گرین‌های کارتریجی..... ۲۹۴
- ۴-۲- آسترها برای گرین‌های متصل به بدنه ۲۹۸
- ۴-۳- محافظ حرارتی طراحی شده برای عایق کردن محفظه احتراق ۳۰۲
- ۵- نتیجه‌گیری ۳۰۴

فصل چهاردهم - آینده پیشرانش موشک سوخت جامد..... ۳۰۹

- ۱- افزایش انرژی پیشرانه جامد ۳۱۰
- ۲- پرتاب موشک‌های استراتژیک ۳۱۳
- ۳- پیشرانه‌ها برای موشک‌های جنگی ۳۱۶
- ۳-۱- سیر تکاملی نیازمندی‌ها ۳۱۶
- ۳-۲- تکامل یا پیشرفت پیشرانش‌های جنگی ۳۱۹
- ۴- رانش پوسته‌ها ۳۲۳
- ۵- پرتاب‌کننده‌های فضایی و موتورهای فضایی ۳۲۳
- ۵-۱- گرین‌های یکپارچه برای بوسترهای فضایی ۳۲۷
- ۶- نتایج ۳۲۸

مقدمه

در دنیای صنعتی حاضر، هر روز ما شاهد پرتاب انواع مختلفی از راکت‌ها با اهداف و کارآیی‌های گوناگون می‌باشیم. اهداف بشر از آزمایش و یا پرتاب این راکت‌ها دامنه وسیعی دارد این اهداف ممکن هست در راستای ارتقاء زندگی بشری از جمله پرتاب ماهواره‌های مخابراتی و هواشناسی و سفر به سیاره‌های دیگر و یا در راستای اهداف نظامی، دفاعی و یا تجاوزگرانه باشد. نیروی پیشرانشی این راکت‌ها در قسمت موتور آن‌ها تامین می‌شود و انرژی این موتورها با مکانیزم‌ها و تکنولوژی‌های مختلفی تامین می‌گردد. یکی از پرستفاده‌ترین تکنولوژی‌ها، استفاده از پیشراندهای جامد می‌باشد. در سال‌های اخیر تحقیقات فراوانی در این حوزه در دنیا و از جمله کشور ما در حال انجام می‌باشد. وجود منابع علمی قوی در این حوزه به محققین کمک خواهد نمود تا در تحقیقات مربوطه موفق‌تر عمل نمایند. یکی از منابع مهم در این حوزه کتاب *Solid Rocket Propulsion Technology* نوشته Alain Davenas می‌باشد. این کتاب را می‌توان به عنوان یکی از مراجع اساسی و کامل در حوزه موتورهای راکت جامد در نظر گرفت. روند بیان مطالب در این کتاب به گونه‌ای می‌باشد که مطالب کامل و جامعی را در انواع حوزه‌های تخصصی لازم برای طراحی و ساخت موتور راکت جامد در دسترس خوانندگان خود قرار می‌دهد. از طرفی هر متخصص می‌تواند با مراجعه به فصل(های) مربوطه و با مطالعه بخشی از کتاب نیازهای علمی و تخصصی خود را مرتفع نماید. این کتاب در دو جلد و شامل پانزده فصل ترجمه و تقدیم خوانندگان عزیز و گرامی می‌شود.

جلد اول شامل شش فصل می‌باشد. در فصل اول به بیان تعاریف اولیه پیشرانش برای موتورهای موشک سوخت جامد پرداخته می‌شود. در فصل دوم اصول طراحی گرین پیشرانده جامد بیان و در فصل سوم روش‌های پیش‌بینی و اندازه‌گیری ایمپالس ویژه موتورهای جامد بیان می‌شود. احتراق پیشرانده جامد و بالستیک داخلی موتورهای جامد در فصل چهارم کتاب مورد بررسی و تجزیه تحلیل قرار می‌گیرد. اثر دود و سیگنال و همچنین اثر شعله انتهای موتور راکت جامد در رهگیری و شناسایی پرتابه‌های موتور جامد در فصل پنجم بیان می‌شود و در فصل انتهایی (فصل ششم) ساختارهای گرین‌های پیشراندهای جامد از جهت شکست، تغییرات دمایی، خواص مکانیکی و... مورد بررسی قرار می‌گیرد.

جلد دوم کتاب شامل ۸ فصل می‌باشد. در فصل هفتم خصوصیات ایمنی پیشراندهای جامد و خطرات موتورهای موشک جامد مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. در فصل هشتم گروه‌های اصلی پیشراندهای جامد و کاربردهای آن‌ها بیان می‌شود و هرکدام از این گروه‌ها با جزئیات

بیشتری از جمله ترکیبات و مواد اولیه، فرآیندهای تولید، خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، ایمنی و عملیاتی به همراه پایداری شیمیایی و کهولت و طول عمر آنها مورد بررسی قرار می‌گیرد. در فصل دهم فرمولاسیون‌های پیشراندهای کامپوزیتی به همراه روش‌های ساخت و کنترل کیفیت آنها و خصوصیات عملکردی آنها مورد بررسی قرار می‌گیرند. فصل یازدهم به بررسی پیشراندهای پیشرفته حاوی بایندر پر انرژی شامل مواد اولیه، روش‌های ساخت و تعیین خصوصیات آنها می‌پردازد. در فصل دوازدهم پیشراندهای مورد استفاده در سیستم‌های رمجت مورد بررسی قرار می‌گیرد و در فصل سیزدهم عایق‌های حرارتی، آسترها و بازدارنده‌ها بیان می‌شوند. در انتهای کتاب و در فصل چهاردهم به بررسی پیشرفت‌های متصور در آینده پیشرانش راکت‌های جامد و آینده‌نگری در این حوزه پرداخته می‌شود.

مترجمان امیدوارند که این اثر برای کلیه دانشجویان و متخصصین فعال در حوزه پیشرانش راکت‌ها یا تخصص‌های شیمی، مهندسی شیمی، مکانیک، هوافضا، مواد و... مفید واقع شود و از تمامی خوانندگان گرامی بابت وجود هرگونه کوتاهی و اشتباه عذرخواهی نموده و آماده دریافت انتقادات و پیشنهادات دوستان در جهت اصلاح و ارتقاء متن کتاب در چاپ‌های آینده می‌باشند.

با آرزوی توفیق

مترجمان

mrsovizi@mut.ac.ir

فصل هفتم

خواص ایمنی پیشران‌های جامد

و خطرات موتورهای موشک سوخت جامد

۱- مقدمه

رشد سریع نیازهای عملکردی و ماموریت‌های جدید نیازمندی‌هایی را می‌طلبد:

- استفاده روز افزون از موتورهای موشک بزرگ‌تر
- استفاده و تحقیق روز افزون در مورد پیشرانه‌های قوی‌تر و یا پیشرانه‌هایی که سرعت احتراق سریع‌تری دارند.

همچنان که به دنبال یافتن پیشرانه‌هایی پر انرژی هستیم باید سطح آسیب پذیری کمی نیز داشته باشند. با توجه به تکامل مقررات ایمنی، اکنون لازم است مسایل ایمنی در ابتدای هر پروژه تعریف شود.

۲- بررسی اجمالی خطرات موشک‌های سوخت جامد

موتورهای موشک پیشرانه جامد در طول مدت چرخه عمرشان، از تولید تا مصرف، در محیط‌های گوناگون قرار می‌گیرند و براساس نوع فعالیت خود، تحت تنش‌های گوناگونی قرار می‌گیرند که در این شرایط، تنش‌های وارده نه‌تنها تابعی از موتور موشک است بلکه از محیطی که موتور موشک در آن قرار دارد نیز تاثیر می‌پذیرد.

در طول عمر موتور، اتفاقات نامطلوب و ناخواسته گوناگونی رخ می‌دهد:

- عملکرد نابهنگام از طریق اشتعال ناگهانی؛
 - فعال شدن غیر عمدی در اثر عوامل گرمایی و مکانیکی:
- انفجار گرین پیشرانه در اثر گرما، پرتاب و ترکیدن
- کارکردهای نامناسب که ممکن است منجر به وقوع عوامل بالا شود.
- این حوادث در ارتباط با انرژی ذخیره شده درون پیشرانه هستند و باعث تأثیرات فیزیکی زیر می‌شوند.
- جریان‌های گرمایی

پرتاب مواد فعال و یا بی‌اثر که می‌توانند براساس چگالی، انرژی جنبشی و کالری مشخص شوند شامل:

- پیشرانش

- پرتاب مواد داخلی (اجزاء)

- پرتاب مواد پر انرژی (پیشرانه‌ها)

- ترکیدن بصورت:

- انفجار مکانیکی

- انفجار بخشی از موتور و یا کل موتور

موارد بالا خطرات اولیه ناشی از استفاده موتورهای پیشرانه جامد هستند اما، در پشت این خطرات اولیه، هر گونه فعال شدن موتور، باعث بروز خطرات ثانویه‌ای هم می‌شود (به غیر از انرژی جنبشی یا کالری) که در اثر اصابت مواد پرانرژی به دیواره و یا اشیاء دیگر به دیواره ایجاد می‌شوند.

در موارد شدید، انفجار باعث ایجاد فشار بیش از حد در محیط اطراف می‌شود، که در حالت explosion نسبتاً کم خواهد بود (در حد کیلوپاسکال) و در حالت detonation بسیار زیاد خواهد بود (در حد مگاپاسکال).

۳- رفتارهای پیروتکنیکی پیشرانه‌های جامد

رفتار پیروتکنیکی پیشرانه‌های جامد به صورت زیر طبقه‌بندی می‌شود:

- تخمین حالت‌های متفاوت تجزیه آنها
- دانش در زمینه واکنش‌های آنها (نوع و آستانه انجام واکنش‌ها) هنگامی که در معرض محرک خاصی قرار می‌گیرند.

داشتن اطلاعات کافی در مورد رفتار پیشرانه‌های جامد بسیار با ارزش است و توانمندی‌های زیر را برای ما ایجاد می‌کند.

- شناخت حالت‌های تجزیه آنها
- شناخت سطح محرکهایی که منجر به واکنش‌های پیروتکنیکی می‌شوند.
- مقایسه رفتار پیشرانه‌های جامد با یکدیگر و تخمین رفتار عمومی گرین‌های پیشرانه جامد و یا موتور موشک از طریق مقایسه آنها با یک گرین پیشرانه جامد مرجع و یا موتور موشک مرجع که رفتار آن در تجربیات گذشته شناخته شده است.

۳-۱- رفتارهای تجزیه‌ای^۱ پیشرانه‌های جامد

پیشرانه‌ها مانند همه مواد پرانرژی حالت‌های تجزیه‌ای متفاوتی از خود نشان می‌دهند.