

طراحی سازه‌های مقاوم در برابر انفجار

نویسندگان:

آرش منظم دانشجوی دکتری مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف

محمد فردوسی کارشناس ارشد مواد پراورزی

حامد عنایتی دانشجوی دکتری مهندسی عمران دانشگاه تهران



سازمان صنایع دفاع

معاونت علوم، تحقیقات و توسعه فناوری

کلیه حقوق محفوظ و متعلق به سازمان صنایع دفاع است.

هر نوع تکثیر یا نشر تمام یا بخش‌های مستقلی از این کتاب، منوط به اجازه‌ی کتبی ناشر است.

- سرشناسه : منظم، آرش
- عنوان و نام پدیدآور : طراحی سازه‌های مقاوم در برابر انفجار / نویسندگان آرش منظم، حامد عنایتی ؛
- [برای سازمان صنایع دفاع، معاونت علوم، تحقیقات و توسعه فناوری ؛ نظارت
- پژوهشکده اندیشه دفاعی، گروه پژوهشی آینده‌نگاری علوم و فناوری‌های دفاعی.
- مشخصات نشر : تهران: شرکت پیشرو فناوری قائد، ۱۳۹۳.
- مشخصات ظاهری : ب، ۶۰۸ ص.؛ مصور، جدول، نمودار(رنگی).
- شابک : ۳-۰۴-۷۷۴۹-۶۰۰-۹۷۸-۳۵۰۰۰۰ ریال
- موضوع : باینداری سازه‌ها، طراحی سازه
- شناسه افزوده : عنایتی، حامد، ۱۳۶۵ -
- شناسه افزوده : سازمان صنایع دفاع، معاونت آموزش، تحقیقات و توسعه فناوری
- شناسه افزوده : موسسه آموزشی و تحقیقاتی صنایع دفاعی، پژوهشکده اندیشه دفاعی، گروه
- پژوهشی آینده‌نگاری علوم و فناوری‌های دفاعی
- رده‌بندی کنگره : ۱۳۹۳ ۷۶۵۴/۴ TA۶۵۶
- رده‌بندی دیویی : ۶۲۴/۱۷۱ شماره کتابشناسی ملی: ۳۷۳۵۶۲۳

عنوان: طراحی سازه‌های مقاوم در برابر انفجار

نویسندگان: آرش منظم، محمد فردوسی، حامد عنایتی

صاحب امتیاز و پدیدآورنده: معاونت علوم، تحقیقات و توسعه فناوری سازمان صنایع دفاع

نظارت: پژوهشکده اندیشه دفاعی، گروه پژوهشی آینده‌نگاری علوم و فناوری‌های دفاعی

ناشر: انتشارات شرکت پیشرو فناوری قائد

نوبت چاپ: اول- زمستان ۱۳۹۳

شابک: ۳-۰۴-۷۷۴۹-۶۰۰-۹۷۸

تیراژ: ۲۰۰ جلد

قیمت: ۳۵۰۰۰ تومان

مرکز توزیع و پخش:

تهران، بالاتر از چهارراه پاسداران، سه‌راه اختیاریه، سازمان صنایع دفاع، معاونت علوم، تحقیقات و

توسعه فناوری

www.idca-sasad.ir

تهران، نارمک، بالاتر از میدان نبوت (هفت حوض)، خیابان کیانی ثابت، مجتمع تجاری کیش، طبقه ششم،

واحد ۱۱، انتشارات شرکت پیشرو فناوری قائد

۲۱-۷۷۴۹۱۰۱۴-۵

پیش‌گفتار

مسئله‌ی پیشرفت علمی و ارتباط علم با فناوری را در کشور جدی بگیرد؛ یعنی نسبت به این مسئله واقعاً هیچ کوتاهی صورت نگیرد. این مسئله، مسئله‌ی اساسی ما است؛ یکی از اصلی‌ترین، اساسی‌ترین و فوری‌ترین مسائل ما است.
(از میانات مقام معظم رهبری (مدظله العالی) (۹۳/۴/۱۱))

توجه به ظرفیت‌های تولید درون‌زای علم و دانش بر پایه تحقیق و توسعه موجب نوآوری و خلق محصولات و فناوری‌های توانمندساز به‌عنوان عامل پیشران حرکت صنایع دانش‌بنیان خواهد شد.

محققان به‌عنوان سرمایه‌های انسانی دانش‌مدار، رکن اساسی تحقیق و توسعه و کانون تولید دانش و فناوری محسوب شده و نقش اساسی را در شکستن مرزهای دانش و نوآوری و کشف راه‌های میان‌بر توسعه علم و فناوری و در نهایت خلق شایستگی و کسب اقتدار بر عهده دارند و بدون وجود زیرساخت‌های لازم برای مدیریت اثربخش محققان و نخبگان، حرکت در مسیر چشم‌انداز صنایع بسیار کند خواهد بود.

از این رو معاونت علوم، تحقیقات و توسعه فناوری ضمن ارج نهادن به محققین دانش با حمایت از آثار مولفین و مترجمین و انتشار دستاوردهای با ارزش آنان گامی موثر در ترویج و توسعه دانش برداشته است. بدون تردید رهیافت‌های این عمل پسندیده، آموزه‌های گرانقدری

را برای غنا بخشیدن به اندوخته‌های نظری و بهبود رویکردهای علمی در اختیار محققین و بهره‌برداران قرار خواهد داد.

بالا بردن احتمال حفظ ایمنی جانی و بقای سازه‌ها و تاسیسات خاص، که ممکن است تحت حملات تسلیحاتی و نظامی قرار گیرند، از دو طریق محقق می‌شود (۱) قرارگیری در محل‌های دور از نقاط احتمالی حملات و (۲) در نظر گرفتن تمهیدات مهندسی و تقویت سازه‌ها و تاسیسات. راه‌حل دوم، یعنی طراحی و ساخت سازه‌های مقاوم در برابر انفجار با اصابت مستقیم و یا در فاصله نزدیک، موضوع اصلی این کتاب را تشکیل می‌دهد.

هر انفجار، بسته به مشخصات بمب یا مواد منفجره، عوارض و پیامدهایی را در پی دارد. به‌عنوان مثال انفجار یک بمب هسته‌ای آثاری مانند: تشعشعات حرارتی و هسته‌ای، پالس الکترومغناطیسی، موج انفجار، لرزش زمین، ترکش و پراکنده شدن گرد و غبار را به‌دنبال خواهد داشت. موج انفجار و آثار ناشی از انتشار موج در فضا، پارامتر اصلی در محاسبات طراحی سازه‌های مقاوم در برابر انفجار محسوب می‌گردد. توجه به این نکته ضروری است که معمولاً انفجار صنعتی یا تصادفی و غیرنظامی، ماهیتی متفاوت از انفجارهای نظامی دارد. لذا جزئیات طراحی برای این دو حالت متفاوت است.

تکنیک‌های طراحی پیشنهادی در این کتاب برپایه‌ی نتایج متعدد میزان پاسخ‌های ساختاری کامل و کوچک و تأثیرات آزمایش‌های انفجاری بر روی مواد مختلف ارائه شده است.

در پایان، معاونت علوم، تحقیقات و توسعه فناوری بر خود لازم می‌داند تا از همه‌ی پژوهشگران و محققانی که با راهنمودها و توصیه‌های ارزشمند خود بر غنای کتاب افزوده‌اند، صمیمانه تقدیر و تشکر نماید.

معاونت علوم، تحقیقات و توسعه فناوری

فهرست مطالب

۹	۱- مقدمه
۱۹	۱-۱ هدف
۲۰	۱-۲ سابقه
۲۱	۱-۳ قلمرو تحقیق
۲۲	۲- اصول طراحی سازه‌ای
۲۲	۲-۱ دامنه‌های طراحی فشار
۲۵	۳- بررسی دستگاه شنوایی در ضربه‌های صوتی
۲۶	۳-۱ وضعیت شنوایی پس از تقلیل تماس با سر و صدا
۲۶	۴- پیشگیری از صدمات ناشی از موج انفجار
۴۳	۵- تأثیرات بازده انفجاری
۴۳	۶- بار انفجار
۴۵	۶-۱ مواد منفجره
۴۵	۶-۲ تعادل تی ان تی TNT
۴۶	۶-۳ طبقه‌بندی بارهای انفجاری
۴۸	۶-۴ انفجار مواد منفجره در هوای آزاد
۴۸	۶-۵ انفجار مواد منفجره در هوا
۴۹	۶-۶ انفجار مواد منفجره در سطح

- ۷- حفاظت بارگذاری انفجار ۵۰
- ۷-۱ پدیده‌ی موج انفجار ۵۱
- ۷-۲ انفجار هوای آزاد ۵۴
- ۷-۳ انفجار هوا ۶۰
- ۷-۴ انفجار در سطح ۶۵
- ۷-۵ انفجارهای چندگانه ۷۱
- ۸- تأثیرات محدود کردن انفجارها ۷۲
- ۸-۱ بارهای دیواره‌ی جلویی ۷۶
- ۸-۲ سقف و دیوارهای جانبی ۸۰
- ۸-۳ دیوار پشتی ۸۵
- ۸-۴ انفجارهای چندگانه ۸۶
- ۹- سازه‌های مستطیلی شکل همراه با شکاف در روی سطح زمین ۸۷
- ۱۰- بارهای خارجی دیواره‌ی جلویی ۹۰
- ۱۰-۱ بارهای داخلی دیواره‌ی جلویی ۹۲
- ۱۰-۲ بارهای داخلی دیواره‌ی جانبی و سقف ۹۴
- ۱۰-۳ دیواره‌ی پشتی داخلی ۹۶
- ۱۰-۴ فشار ایجاد شده در سازه‌ها ۹۶
- ۱۱- قطعات اولیه و ثانویه ۱۱۹
- ۱۲- مواد منفجره با ظروف استوانه‌ای ناهمسان ۱۲۱
- ۱۳- مواد منفجره با ظروف غیر استوانه ۱۲۳
- ۱۴- بارهای شوک ۱۳۵
- ۱۴-۱ هوا انفجار ناشی از شوک زمین ۱۳۸
- ۱۴-۲ القای مستقیم حرکت زمین ۱۴۲
- ۱۴-۳ شوک هوا ۱۴۴
- ۱۴-۴ روش آنالیز ۱۴۴
- ۱۵- شکافتگی اولیه در سیلندره‌ای شاره‌ای پوشش دار ۱۶۱
- ۱۶- اصول آنالیز دینامیک ۱۸۵
- ۱۷- توابع مقاومت - خمش ۱۹۱
- ۱-۱۷ مقاومت نهایی ۱۹۳

- ۱۷-۲ عناصر یک طرفه ۱۹۴
- ۱۷-۳ عناصر دو طرفه ۱۹۶
- ۱۷-۴ سوراخ‌ها در عناصر دو طرفه ۲۱۳
- ۱۷-۵ مقاومت بعد از - نهایی ۲۱۴
- ۱۷-۶ شکست جزئی و خمش نهایی ۲۱۶
- ۱۸- مقاومت کشسان - ناکشسان ۲۱۹
- ۱۸-۱ خمش‌ها و سختی‌های ناکشسان - کشسان ۲۲۱
- ۱۸-۲ توابع خمش - مقاومت برای طراحی ۲۲۴
- ۱۸-۳ خمش‌های محدود ۲۲۴
- ۱۸-۴ خمش‌های بزرگ ۲۲۵
- ۱۸-۵ واکنش‌ها یا برش‌های تکیه‌گاه ۲۲۶
- ۱۹- سامانه‌های دینامیکی فعال ۲۲۷
- ۱۹-۱ فعالیت عوامل این طرح ۲۲۹
- ۱۹-۲ فاکتور بار الکتریکی ۲۳۱
- ۲۰- تابع مقاومت ۲۳۶
- ۲۰-۱ عامل (فاکتور) حجم بار الکتریکی ۲۳۶
- ۲۰-۲ دوره‌ی عادی نوسان ۲۴۰
- ۲۱- تجزیه نیروی محرکه ۲۴۲
- ۲۱-۱ عناصری که تنها پاسخ به فشار و ارتباطات زمان فشار می‌دهند ۲۴۳
- ۲۱-۲ تجزیه توسط روش‌های عددی ۲۴۳
- ۲۱-۳ سامانه‌های با درجه مستقل ۲۴۳
- ۲۱-۴ روش میانگین افزایش سرعت ۲۴۴
- ۲۱-۵ روش برون‌یابی افزایش سرعت محرک ۲۴۶
- ۲۲- روش برون‌یابی افزایش سرعت محرک ۲۴۶
- ۲۳- سامان‌های با دو درجه آزادی ۲۵۲
- ۲۴- طراحی نمودار برای بارگذاری‌های ایده‌آل ۲۵۴
- ۲۴-۱ حداکثر پاسخ سامانه‌ی الاستیک خطی به بارهای ساده شده ۲۵۵
- ۲۵- حداکثر پاسخ پلاستیک سامانه‌ی الاستو پلاستیک به بارهای ساده شده ۲۶۲
- ۲۶- حداکثر پاسخ پلاستیکی سامانه‌ی الاستو پلاستیک به بارهای ایده‌آل دو خطی ... ۲۷۱

- ۲۷- طرح تقویت (مقاوم سازی) بتن ۲۹۵
- ۲۸- پایه‌ریزی برای طرح ساختاری ۳۰۰
- ۲۸-۱ مدل‌های عملکرد ساختاری ۳۰۱
- ۲۹- روش عملکرد مجاری (کانالی) در دامنه طرح دور ۳۰۵
- ۲۹-۱ عملکرد روش مجاری (لوله‌ای) در دامنه طرح نزدیک بهم ۳۰۶
- ۳۰- قدرت پویایی مواد خالص ۳۱۱
- ۳۱- قدرت نهایی دینامیکی اسلب ۳۱۸
- ۳۲- طراحی دال‌های بتنی غیر مشبک مستحکم یا آرماتوری ۳۲۱
- ۳۲-۱ توزیع آرماتور خمشی ۳۲۵
- ۳۲-۲ توزیع آرماتور بهینه ۳۲۵
- ۳۲-۳ درصد کل آرماتور مطلوب ۳۲۶
- ۳۲-۴ طرح مارپیچی یا موجی برای خمش‌های کوچک ۳۲۷
- ۳۲-۵ منحنی مقاومت خمشی ۳۲۹
- ۳۲-۶ ظرفیت نهایی پوشته‌ی کششی ۳۳۱
- ۳۲-۷ طرح خمشی یا موجی ۳۳۳
- ۳۳- طرح دال‌های تخت ۳۳۸
- ۳۳-۱ توزیع آرماتور خمشی ۳۴۰
- ۳۴- طرح مربوط به تغییر شکل‌های کوچک ۳۴۴
- ۳۴-۱ طرح مربوط به تغییرات خمشی بزرگ ۳۴۵
- ۳۴-۲ مینیمم تسلیح (فولادگذاری) ۳۴۷
- ۳۵- آنالیز دینامیک ۳۴۹
- ۳۵-۱ مقاومت خمش نهایی ۳۴۹
- ۳۵-۲ مند کار مجازی ۳۵۱
- ۳۶- تاثیر سرستون‌ها و پیل‌های سرستون ۳۵۴
- ۳۶-۱ ظرفیت غشای کشش نهایی ۳۵۵
- ۳۶-۲ انحراف‌های ارتجاعی (الاستیک) ۳۵۷
- ۳۷- طراحی المنت‌های مشبک ۳۶۵
- ۳۷-۱ طراحی مارپیچی برای خمیدگی‌های بزرگ ۳۶۸
- ۳۷-۲ ضرایب تکانه ۳۶۹

۳۸۰	 تقویت بهینه	۳۸- تقویت بهینه
۳۸۰	 توزیع تقویت بهینه	۳۸-۱ توزیع تقویت بهینه
۳۸۵	 درصد کل بهینه تقویت	۳۸-۲ درصد کل بهینه تقویت
۳۸۷	 معادله طراحی برای خمیدگی‌های کم‌تر از $\alpha \leq 1$	۳۸-۳ معادله طراحی برای خمیدگی‌های کم‌تر از $\alpha \leq 1$
۳۸۹	 مقاطع شکافته نشده	۳۸-۴ مقاطع شکافته نشده
۳۹۰	 مارپیچی برای خمیدگی‌های محدود	۳۸-۵ طراحی مارپیچی برای خمیدگی‌های محدود
۳۹۰	 طراحی برای برش	۳۹- طراحی برای برش
۳۹۸	 طراحی برای کشش	۴۰- طراحی برای کشش
۳۹۹	 ۱- ساخت مخلوط	۴۰- ۱ ساخت مخلوط
۴۰۰	 ۲- قابلیت تضعیف کوره بلند حفره شنی	۴۰- ۲ قابلیت تضعیف کوره بلند حفره شنی
۴۰۶	 طراحی برای عناصر مخلوط	۴۱- طراحی برای عناصر مخلوط
۴۲۷	 حداقل گریز از مرکز	۴۲- حداقل گریز از مرکز
۴۳۳	 طراحی دینامیکی ستون خارجی	۴۳- طراحی دینامیکی ستون خارجی
۴۳۵	 انفجار مواد منفجره	۴۴- انفجار مواد منفجره
۴۴۰	 ورقه ورقه شدن با توجه به ضربه‌ی قطعه	۴۵- ورقه ورقه شدن با توجه به ضربه‌ی قطعه
۴۴۲	 اثر قطعه در ساخت کامپوزیت	۴۶- اثر قطعه در ساخت کامپوزیت
۴۴۳	 مساله‌ای در رابطه با عناصر طراحی شده برای روابط فشار-زمان	۴۷- مساله‌ای در رابطه با عناصر طراحی شده برای روابط فشار-زمان
۴۷۲	 طراحی مقدماتی اسلب مسطح برای انحراف زیاد	۴۸- طراحی مقدماتی اسلب مسطح برای انحراف زیاد
	 طراحی یک کامپوزیت (بتن، شن و ماسه و بتن) دیوار به مقاومت در برابر داده	۴۹- طراحی یک کامپوزیت (بتن، شن و ماسه و بتن) دیوار به مقاومت در برابر داده
۴۹۰	 خروجی انفجار برای شکست اولیه	۴۹- خروجی انفجار برای شکست اولیه
۴۹۲	 طراحی پرتو فضای داخلی از یک پشت بام در معرض انفجار سربار	۵۰- طراحی پرتو فضای داخلی از یک پشت بام در معرض انفجار سربار
۴۹۴	 ملاحظات خاص در طراحی تأسیسات انفجاری	۵۱- ملاحظات خاص در طراحی تأسیسات انفجاری
۵۰۸	 معیارهای طراحی برای دیوارهای آجری تقویت شده	۵۲- معیارهای طراحی برای دیوارهای آجری تقویت شده
۵۱۷	 دیوار حمایت شده به صورت ساده	۵۳- دیوار حمایت شده به صورت ساده
۵۳۱	 تدارک مخصوص برای ساختمان پیش‌مهندسی	۵۴- تدارک مخصوص برای ساختمان پیش‌مهندسی