

مهندسی انفجار در پروژه‌های عمرانی

تالیف: دکتر شبیر ارشدنژاد

مدیر بخش تونل و ژئوتکنیک شرکت مهندسين مشاور اتحادراه

استاديار دانشگاه

کتاب حاضر با حمایت مالی شرکت مهندسين مشاور اتحاد راه به مناسبت چهلمین سالگرد تاسیس، به چاپ رسیده است. این شرکت در زمینه طراحی و نظارت بر پروژه‌های راه و راه‌آهن از با سابقه‌ترین شرکت‌های مهندسين مشاور در ایران است.



مهندسین مشاور
اتحادراه

Ettehadrah Consulting Engineers

مهندسی انفجار در پروژه‌های عمرانی
 نویسنده: دکتر شیر ارشدنژاد (استاد یار دانشگاه)
 نوبت چاپ و تاریخ: اول ۱۴۰۰
 تیراژ: ۱۰۰ جلد
 قیمت: ۱۵۰۰۰۰ تومان
 کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به نویسنده است

نویسنده: ارشدنژاد، شیر، ۱۳۵۷ فروردین -
 عنوان و نام کتاب: مهندسی انفجار در پروژه‌های عمرانی /
 شیر ارشدنژاد
 ناشر: انتشارات روشنگران و مطالعات زنان
 مشخصات ظاهری: ۳۵۲ ص، پرده‌بند، نمودار، وزیری
 شابک: ۹۶۴-۹۶۴-۱۹۴-۲۰۲-۳
 یادداشت: این کتاب با حمایت مالی شرکت مهندسين
 مشاور اتحاد راه به چاپ رسیده است.
 موضوع: آتشیاری، مواد منفجره، اثر انفجار، مهندسين معدن
 رده‌بندی کنگره: TN۲۷۹
 رده‌بندی دیویی: ۶۲۲/۲۳
 شماره کتابشناسی ملی: ۸۶۹۰۰۵۰

انتشارات روشنگران و مطالعات زنان
 تهران، خ یوسف‌آباد، م فرهنگ، خ سی‌وسوم، نبش خ آماج،
 پلاک ۲۱، طبقه همکف واحد ۳
 تلفن: ۸۷۲۳۳۶۵ - ۸۷۲۳۹۳۶
 واتس‌آپ: ۰۹۳۰۷۳۳۳۹۷
 پخش: ۶۶۷۰۱۳۶
 واتس‌آپ: ۰۹۰۳۳۷۱۸۶۰۰

ISBN: 978-964-194-202-3
 roshangaran68@gmail.com
 www.roshangaran-pub.ir
 Roshangaran-pub

 انتشارات روشنگران و مطالعات زنان
 R o s h a n g a r a n
 P u b l i s h i n g

مقدمه

ایران کشوری است با موقعیت جغرافیایی ممتاز که در تقاطع چهار قاره بزرگ دنیا قرار گرفته است (از شمال غرب به اروپا و از جنوب غرب به آفریقا و شمال شرقی به آسیای میانه و جنوب شرقی به شبه قاره هند و خاور دور). امروزه به لحاظ رقابت های جهانی و توسعه تکنولوژی و حتی انحصار تخصص های متفاوت، پتانسیل تبادل کالا و خدمات مهندسی روز بروز افزون تر می شود و موقعیت جهانی ایران می تواند یکی از مهمترین نقش ها در امر حمل و نقل بین قاره ای باشد. مدیریت و برنامه ریزی لازم بمنظور تحقق این امر نیازمند داشتن شریان های ارتباطی از قبیل راه، بزرگراه، آزادراه، راه آهن و خطوط هوایی و کشتیرانی است، بنابراین دست اندرکاران صنعت احداث زیربنای حمل و نقل کشور باید تمهیدات لازم برای توسعه شریان های یاد شده را فراهم نمایند. وسعت و جایگاه جغرافیایی ایران می تواند باعث کسب درآمد قابل توجه پایدار از طریق حمل و نقل و جابجایی کالاهای تولیدات داخلی و سایر کشورهای دنیا در مقایسه با درآمد فناپذیر نفت در قرن حاضر باشد.

دانش آموختگان و صاحبان تجربه و تخصص در امر راهسازی و حمل و نقل کشور که اغلب شرکت های تخصصی مهندسان مشاور را تشکیل داده اند امروزه توانمندی لازم برای تحقق امور توسعه راه و راه آهن در سیستم حمل و نقل را مطابق با استانداردهای بین المللی دارا بوده و بر اساس پروژه های انجام شده در نیم قرن اخیر می توان پیشرفت های قابل ملاحظه ای را مشاهده نمود.

شایسته است اساتید محترم دانشگاه ها، مهندسان و متخصصان کشور، هر کدام با توجه به تخصص خود گامی موثرتر در این امر و در چارچوب توسعه پایدار بردارند. بمنظور ارتقاء دانش راهسازی در کشور کتاب های مختلف تخصصی از طریق اساتید و صاحب نظران مختلف تألیف و گردآوری شده است. در این راستا کتاب حاضر تحت عنوان «مهندسی انفجار در پروژه های عمرانی» که به طور تخصصی به منظور

طراحی و اجرا در عملیات راهسازی، راه‌آهن و سدسازی برای اولین بار در متون فارسی تهیه شده است، به مناسبت چهلمین سالگرد تأسیس مهندسين مشاور اتحادراه توسط آقای دکتر شبير ارشدنژاد مدير بخش مطالعات تونل و ژئوتکنیک این مهندسين مشاور به ثمر نشسته و به چاپ رسید. امید است مورد بهره‌گیری و استقبال اهل فن قرار گیرد.

مهندسين مشاور اتحاد راه

جواد جواهری - مدیرعامل

www.ketab.ir

فصل اول: خواص مکانیکی سنگ‌ها در مبحث انفجار

۵	۱-۱- مقدمه
۶	۱-۲- توصیف سنگ‌ها
۶	۱-۳- چگالی و تورم
۱۱	۱-۴- مقاومت فشاری تک محوری سنگ بکر
۱۳	۱-۵- تورق و ناهمسانگردی در سنگ
۱۵	۱-۶- ساختار توده‌سنگ
۱۸	۱-۷- مقاومت معادل سنگ بکر
۱۹	۱-۸- سرعت انتشار امواج P و S در سنگ
۲۱	۱-۹- قابلیت حفر سنگ
۲۱	۱-۹-۱ شاخص سرعت چالزنی (DRI)
۲۷	۱-۱۰- شاخص تردی سنگ
۲۹	۱-۱۱- انرژی سطحی مخصوص
۳۰	۱-۱۲- شاخص قابلیت انفجار در توده سنگ

فصل دوم: مفاهیم بنیادی در مهندسی انفجار

۳۹	۲-۱- مقدمه
۳۹	۲-۲- تئوری انفجار
۴۱	۲-۳- انتشار موج ضربه
۴۲	۲-۴- فرایند شکست سنگ در انفجار
۴۳	۲-۴-۱ خردشدگی
۴۳	۲-۴-۲ ترک‌های شعاعی
۴۴	۲-۴-۳ شکست انعکاسی یا پوسته پوسته شدن
۴۵	۲-۴-۴ گسترش گاز در شکاف‌ها
۴۶	۲-۴-۵ شکست ناشی از آزاد شدن فشار
۴۶	۲-۴-۶ شکست در امتداد مرزهای با سختی متفاوت
۴۶	۲-۴-۷ شکست توسط خمش
۴۷	۲-۴-۸ شکست توسط برخورد حاصل از پرتاب
۴۷	۲-۵- انتقال انرژی حاصل از انفجار
۴۷	۲-۵-۱ خواص فیزیکی ماده منفجره و سنگ (ضریب امپدانس)
۴۸	۲-۵-۲ کیفیت خرج‌گذاری (ضریب جفت‌شدگی)
۴۸	۲-۶- ترک‌خوردگی در سنگ

صفحه	فهرست مطالب
۴۹	۷-۲- انتخاب ماده منفجره
۵۰	۸-۲- توزیع تنش در اطراف چال انفجاری
۵۳	۹-۲- معادله حالت

فصل سوم: انتخاب روش حفر در تونل و ترانشه

۵۷	۱-۳- مقدمه
۵۷	۲-۳- روش فراکلین
۵۸	۳-۳- روش ویور
۶۰	۴-۳- روش کریستن
۶۳	۵-۳- روش یتیفرو و فوکس
۶۳	۶-۳- روش کاتریلار
۶۹	۷-۳- روش تسیامبوس و ساروگلو
۷۲	۸-۳- تعیین مقدار GSI

فصل چهارم: طراحی الگوی حفاری و انفجار روستحی

۷۷	۱-۴- مقدمه
۷۷	۲-۴- اجزای طراحی حفاری و انفجار
۷۸	۱-۲-۴- قطر چال
۸۰	۲-۲-۴- یارسنگ
۸۱	۳-۲-۴- فاصله‌داری چال‌ها
۸۴	۴-۲-۴- ارتفاع پله
۸۴	۵-۲-۴- اضافه حفر چال
۸۶	۶-۲-۴- انسداد چال
۸۷	۷-۲-۴- شیب چال
۸۹	۳-۴- ارتباط قطر چال با نوع ماده منفجره
۸۹	۴-۴- ارتباط خصوصیات سنگ با نوع ماده منفجره
۸۹	۵-۴- ارتباط مقاومت و ساختار توده‌سنگ با نوع ماده منفجره
۹۰	۶-۴- ارتباط شرایط محیطی و جوی با نوع ماده منفجره
۹۰	۷-۴- تأثیر عوامل زمین‌شناسی بر کیفیت انفجار
۹۲	۸-۴- مدل‌های تجربی محاسبه یارسنگ
۹۲	۱-۸-۴- مدل هینو (۱۹۵۹)
۹۲	۲-۸-۴- مدل آش (۱۹۶۳)
۹۴	۳-۸-۴- مدل لانگفورس و کیلستروم (۱۹۶۳)
۹۶	۴-۸-۴- مدل کونیا و والترز (۱۹۸۳)
۱۰۰	۵-۸-۴- مدل فولدسی (۱۹۸۰)

صفحه	فهرست مطالب
۱۰۱	۴-۸-۶- مدل نیترونویل (۱۹۸۴)
۱۰۳	۴-۸-۷- مدل برتا (۱۹۸۵)
۱۰۵	۴-۸-۸- مدل الافسون (۱۹۹۰)
۱۰۶	۴-۹- محاسبه خرج ویژه و حفاری ویژه اجرایی
۱۰۷	۴-۱۰- بهینه کردن هزینه عملیات
۱۰۹	۴-۱۱- انواع برش
۱۰۹	۴-۱۱-۱- برش قائم
۱۱۰	۴-۱۱-۲- برش کنار تپه‌ای
۱۱۱	۴-۱۱-۳- برش ترانشه‌ای

فصل پنجم: طراحی الگوی حفاری و انفجار در تونل‌ها

۱۱۷	۵-۱- مقدمه
۱۱۸	۵-۲- سطح آزاد
۱۱۹	۵-۳- کنترل آسیب‌دیدگی توده‌سنگ
۱۲۴	۵-۴- کنترل آسیب‌دیدگی میل‌مهارها
۱۲۶	۵-۵- عوامل زمین‌شناسی در پیشروی تونل‌ها
۱۲۷	۵-۶- پیش‌بینی میزان خرج ویژه
۱۳۱	۵-۷- طراحی الگوی حفاری
۱۳۲	۵-۷-۱- مدل رُستن
۱۳۴	۵-۷-۲- روش هاسترولید
۱۳۵	۵-۷-۳- روش روسی
۱۳۶	۵-۷-۴- روش سوئدی
۱۳۶	۵-۷-۴-۱- چال‌های ناحیه برش
۱۴۴	۵-۷-۴-۲- چال‌های ناحیه B, C و E
۱۴۶	۵-۷-۴-۳- چال‌های پیرامونی
۱۴۷	۵-۸- ارزیابی کیفیت انفجار در تونل‌ها

فصل ششم: طراحی الگوی حفاری و انفجار در زیر آب

۱۵۱	۶-۱- مقدمه
۱۵۱	۶-۲- روش‌های اجرا
۱۵۶	۶-۳- طراحی الگوی حفاری و انفجار در زیر آب
۱۵۸	۶-۴- انتشار امواج ضربه‌ای در آب
۱۶۵	۶-۵- انتشار امواج ضربه‌ای در هوا
۱۶۶	۶-۶- لرزش زمین

صفحه	فهرست مطالب
	فصل هفتم: پیش‌بینی خردایش سنگ
۱۷۱	۱-۷- مقدمه
۱۷۱	۲-۷- جنبه‌های اقتصادی عملیات حفاری و انفجار
۱۷۳	۳-۷- مدل‌های تجربی پیش‌بینی خوردشدگی
۱۷۴	۱-۳-۷- مدل کارنسوف
۱۷۶	۲-۳-۷- مدل لارسون
۱۷۶	۳-۳-۷- مدل روزین - رامر
۱۷۸	۴-۳-۷- مدل سوئدفو
۱۷۹	۵-۳-۷- مدل KCO
۱۸۱	۶-۳-۷- مدل CK
۱۸۲	۴-۷- روش آنالیز تصویری در تخمین خردایش
۱۸۲	۵-۷- آنالیز تصویری با نرم افزار Gold Size
	فصل هشتم: روش‌های انفجار کنترل شده
۱۹۱	۱-۸- مقدمه
۱۹۲	۲-۸- روش چال خالی
۱۹۲	۳-۸- تاثیر قطر چال و جفت‌شدگی در تنش القایی
۱۹۴	۴-۸- روش انفجار بالشتکی
۱۹۶	۵-۸- روش انفجار پیش‌شکافی
۲۰۲	۱-۵-۸- خرج‌گذاری با فنیله انفجاری در روش پیش‌شکافی
۲۰۲	۶-۸- روش انفجار ملایم
۲۰۳	۷-۸- انفجار پیش‌شکافی با ستون هوا
۲۰۶	۸-۸- روش کنترل شکاف
۲۰۸	۹-۸- روش انفجار سپری
۲۰۹	۱۰-۸- ارزیابی نتیجه عملیات انفجار کنترل شده
	فصل نهم: ارتعاشات زمین و هوا و پرتاب سنگ
۲۱۳	۱-۹- مقدمه
۲۱۳	۲-۹- ارتعاش زمین
۲۱۴	۱-۲-۹- انواع امواج لرزه‌ای
۲۱۴	۱-۱-۲-۹- امواج طولی (P)
۲۱۴	۲-۱-۲-۹- امواج برشی (S)
۲۱۵	۳-۱-۲-۹- امواج رابلی
۲۱۶	۴-۱-۲-۹- امواج لاو
۲۲۱	۲-۲-۹- فرکانس امواج لرزه‌ای
۲۲۳	۳-۲-۹- سرعت ارتعاش ذره‌ای

صفحه	فهرست مطالب
۲۲۸	۱-۳-۲-۹ مدل‌های تجربی تخمین سرعت ذره‌ای
۲۳۱	۱-۳-۲-۹-۱- فرمول‌های تجربی در انفجارهای روستحی
۲۳۳	۱-۳-۲-۹-۲- فرمول‌های تجربی در انفجارهای زیرزمینی
۲۳۵	۱-۳-۲-۹-۳- فرمول‌های تجربی در تخریب انفجاری سازه‌ها
۲۳۷	۱-۳-۲-۹-۴- فرمول‌های تجربی در انفجار زیر آب
۲۳۷	۲-۹-۴- معیارهای لرزش مجاز
۲۳۷	۲-۹-۴-۱- معیار جابجایی ذره‌ای مجاز
۲۳۸	۲-۹-۴-۲- معیار حساسیت لرزه‌ای
۲۳۹	۲-۹-۴-۳- معیار سرعت ذره‌ای مجاز
۲۳۹	۲-۹-۴-۳-۱- معیار سرعت ذره‌ای مجاز برای توده‌سنگ
۲۴۳	۲-۹-۴-۳-۲- معیار سرعت ذره‌ای مجاز برای سازه‌ها
۲۵۲	۲-۹-۵- مانع لرزه‌ای برای کاهش شدت لرزش زمین
۲۵۴	۲-۹-۶- کنترل ارتعاشات در بتن
۲۵۶	۲-۹-۷- فرکانس طبیعی سازه‌ها
۲۵۹	۲-۹-۸- تاثیر امواج لرزه‌ای بر خطوط لوله
۲۶۲	۲-۹-۳- امواج ضربه‌ای در هوا
۲۶۳	۲-۹-۳-۱- پارامترهای موثر محیطی
۲۶۳	۲-۹-۳-۱-۱- دمای هوا
۲۶۴	۲-۹-۳-۱-۲- فشار هوا
۲۶۴	۲-۹-۳-۱-۳- رطوبت هوا
۲۶۴	۲-۹-۳-۱-۴- چگالی هوا
۲۶۵	۲-۹-۳-۱-۵- اینورژن
۲۶۶	۲-۹-۳-۲- جبهه پرفشار امواج صوتی
۲۶۷	۲-۹-۳-۳- تراز شدت صوت
۲۶۹	۲-۹-۴- فشار صوت در انفجارهای روستحی
۲۷۲	۲-۹-۵- مانع کاهنده فشار صوت
۲۷۳	۲-۹-۶- آسیب‌پذیری پنجره‌ها در برابر فشار صوت
۲۷۴	۲-۹-۷- فشار صوت در انفجارهای زیرزمینی
۲۷۵	۲-۹-۸- فشار صوت در روش تخریب انفجاری سازه‌ها
۲۷۷	۲-۹-۹- استانداردهای ایمنی در برابر موج انفجار در هوا
۲۷۸	۲-۹-۴- پرتاب سنگ
فصل دهم: مباحث پیشرفته	
۲۸۷	۱۰-۱- مقدمه
۲۸۷	۱۰-۲- مکانیک شکست سنگ

صفحه	فهرست مطالب
۲۸۹	۱-۳-۱۰- انواع شکست
۲۸۹	۱-۱-۲-۱۰- شکست نرم
۲۹۰	۲-۱-۲-۱۰- شکست ترد
۲۹۰	۲-۲-۱۰- مدهای سه گانه شکست
۲۹۱	۳-۲-۱۰- تحلیل تنش در مجاورت نوک ترک
۲۹۳	۴-۲-۱۰- برآورد ابعاد ناحیه پلاستیک نوک ترک
۲۹۷	۵-۲-۱۰- تخمین چقرمگی سنگ‌ها
۲۹۹	۳-۱۰- انفجار و شکست کنترل شده
۳۰۴	۴-۱۰- خردایش سنگ
۳۰۵	۵-۱۰- شکافت سنگ با مواد منبسط شونده
۳۰۶	۱-۵-۱۰- آماده‌سازی مواد منبسط شونده
۳۰۶	۲-۵-۱۰- عکس‌العمل ماده منبسط شونده
۳۱۰	۳-۵-۱۰- مدل تجربی برای برآورد فشار چال
۳۱۱	۴-۵-۱۰- طراحی آرایش چال‌ها
۳۱۲	۶-۱۰- انفجار ثانویه
۳۱۳	۷-۱۰- ریشه‌کنی بقایای درختان
۳۱۴	۸-۱۰- انفجار در یخ و خاک یخ‌زده
۳۱۷	۹-۱۰- پی‌کنی پایه ستون یا پل
۳۱۸	۱۰-۱۰- تخریب بتن
۳۲۱	۱۱-۱۰- تحکیم خاک دانه‌ای با امواج لرزه‌ای
۳۲۱	۱-۱۱-۱۰- سقوط وزنه برای تراکم خاک
۳۲۵	۲-۱۱-۱۰- امواج انفجار برای تراکم خاک
۳۲۶	۱۲-۱۰- لرزش ناشی از ضربات چکش هیدرولیکی

فهرست منابع

۳۲۹	منابع فارسی
۳۳۰	منابع انگلیسی
	پیوست‌ها
۳۴۰	پیوست الف- جداول کاربردی