

۲۲۴۸۲۴۷
۳۶۰۱/۶۷

طراحی و برنامه‌ریزی معادن روباز (مبانی)

ویرایش سوم

جلد دوم - عملیات واحد
(فصل‌های نهم تا سیزدهم)

تألیف

ویلیام هونترولیه

استاد بازنشسته، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه یوتا

مارک کوچتا

دانشکده مهندسی معدن، مدرسه معدن کلرادو

رندی مارتین

رئیس شرکت ر.ک. مارتین، دنور، کلرادو

ترجمه

دکتر علی اصغر خدایاری

استادیار بازنشسته، دانشگاه تهران

مهدی یاوری شهرضا

عضو هیأت علمی (مربی) دانشگاه تهران



شماره مسلسل ۱۰۹۲۸

شماره انتشار ۴۴۹۸

انتشارات دانشگاه تهران

سرشناسه	هوسترولید، ویلیام ا. Hustrulid, William A.
عنوان و نام پدیدآور	طراحی و برنامه‌ریزی معادن روباز [کتاب] / مؤلفان ویلیام هوسترولید، مارک کوچتا، رندی مارتین؛ مترجمان علی اصغر خدایاری، مهدی یآوری شهرضا.
مشخصات نشر	تهران: دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری	۳۳۰ص: مصور، جدول، نمودار.
فروست	انتشارات دانشگاه تهران؛ شماره ۳۷۴۱.
شابک جلد اول	978-964-03-6945-6
شابک جلد دوم	978-964-03-0315-3
وضعیت فهرست‌نویسی	فایا
یادداشت	Open Pit Mine Planning and Design, 3rd ed.؛ عنوان اصلی: 2006.
یادداشت	ج. ۲. چاپ اول: ۱۴۰۱ (فیا)
مندرجات	ج. ۱. مبانی - ج. ۲. عملیات واحد (فصل‌های نهم تا سیزدهم)
موضوع	معادن و ذخایر معدنی - حفاری سطحی.
موضوع	مهندسی معدن.
شناسه افزوده	کوچتا، مارک.
شناسه افزوده	Kuchta, Mark
شناسه افزوده	مارتین، رندی.
شناسه افزوده	Martin, Randy
شناسه افزوده	خدایاری، علی اصغر، ۱۳۳۷ - مترجم.
شناسه افزوده	مهدی، ۱۳۳۵ - مترجم.
شناسه افزوده	دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات.
شناسه افزوده	University of Tehran. Press
رده‌بندی کنگره	۱۴۰۱ ط ۴ ۲۹۲
رده‌بندی دیویی	۶۲۲/۲۹۲
شماره کتابشناسی ملی	۳۶۳۰۳۹۴

این کتاب مشمول قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان است. تکثیر آن به هر روش اعم از فتوکپی، ریسوگرافی، تهیه فایل‌های pdf لوح فشرده، بازنویسی در وبلاگ‌ها، سایت‌ها، مجله‌ها و کتاب، بدون اجازه کتبی ناشر مجاز نیست و موجب پیگرد قانونی می‌شود و تمامی حقوق برای ناشر محفوظ است.
(این کتاب با کاغذ حمایتی به چاپ رسیده است.)



عنوان: طراحی و برنامه‌ریزی معادن روباز: مبانی (جلد دوم: عملیات واحد)

تألیف: ویلیام هوسترولید - مارک کوچتا - رندی مارتین

ترجمه: دکتر علی اصغر خدایاری - مهدی یآوری شهرضا

ویرایش ادبی: فاطمه شیخ‌لو

نوبت چاپ: اول

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱

شمارگان: ۱۰۰ نسخه

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

چاپ و صحافی: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

«مسئولیت صحت مطالب کتاب با مترجمان است»

بها: ۱,۴۰۰,۰۰۰ ریال

خیابان کارگر شمالی - خیابان شهید فرش مقدم - مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

http://press.ut.ac.ir - تارنما: press@ut.ac.ir

پخش و فروش: تلفکس ۸۸۳۳۸۷۱۲



فهرست مطالب

پیشگفتار مترجمان ض

فصل نهم - آتش باری در سنگ	۱
۱-۹ آشنایی کلی با عملیات واحد معدن کاری	۱
۲-۹ آتش باری در سنگ	۲
۱-۲-۹ خرد کردن سنگ	۲
۲-۲-۹ روند طراحی انفجار	۴
۳-۲-۹ مواد منفجره به عنوان منبع انرژی خرد کردن	۴
۴-۲-۹ منحنی های حجم- فشار	۷
۵-۲-۹ قدرت ماده منفجره	۱۱
۶-۲-۹ موارد مصرف انرژی	۱۲
۷-۲-۹ رهنمودهایی برای طرح اولیه انفجار (آتش باری)	۱۴
۸-۲-۹ مبنای طراحی آتش باری	۱۴
۹-۲-۹ نسبت هایی برای طراحی اولیه	۲۲
۱۰-۲-۹ مثالی درباره نسبت های طراحی آتش باری	۲۵
۱۱-۲-۹ تعیین K_{10}	۳۰
۱۲-۲-۹ پوشش انرژی	۳۳
۱۳-۲-۹ ملاحظات پایانی	۳۹
منابع	۳۹
سیاس گذاری	۴۵
پرسش ها و تمرین های مروری	۴۵

فصل دهم - حفاری (چال زنی) دورانی ۵۳

۱-۱۰ تاریخچه سرمته های مورد استفاده در حفاری دورانی	۵۳
۲-۱۰ کنش جدا کردن (کندن) سنگ	۶۲
۳-۱۰ قطعات سرمته سنگ	۷۱
۴-۱۰ نام گذاری سرمته غلتشی	۷۳

۷۶.....	۵-۱۰ دستگاه چال‌زنی دورانی
۸۵.....	۶-۱۰ فرایند انتخاب چال‌زن
۹۰.....	۷-۱۰ رشته حفاری
۹۷.....	۸-۱۰ سرعت نفوذ - مطالعات بنیادی پیشین
۱۰۲.....	۹-۱۰ سرعت نفوذ - تجارب صحرایی
۱۱۱.....	۱۰-۱۰ نیروی پایین‌رانی
۱۱۴.....	۱۱-۱۰ سرعت دوران (Toll, ۱۹۸۱)
۱۱۵.....	۱۲-۱۰ تخمین عمر سرشته
۱۱۶.....	۱۳-۱۰ نکات فنی برای بهترین عملکرد سرشته
۱۱۷.....	۱۴-۱۰ خارج کردن خرده‌های حفاری و خاک کردن یاتاقان
۱۲۹.....	۱۵-۱۰ عوامل زمان تولید
۱۳۰.....	۱۶-۱۰ محاسبات هزینه
۱۳۱.....	۱۷-۱۰ خودکارسازی ماشین حفاری
۱۳۲.....	منابع
۱۴۴.....	سیاس‌گذاری
۱۴۴.....	پرسش‌ها و تمرین‌های مروری

فصل یازدهم - بارگیری با شاول ۱۵۳.....

۱۵۳.....	۱۱-۱ آشنایی
۱۵۷.....	۲۰-۱۱ شیوه‌های اجرایی (Martin, ۱۹۸۲)
۱۶۰.....	۳-۱۱ ظرفیت صندوقه
۱۶۱.....	۴-۱۱ برخی ابعاد، طرح‌ها و مشخصات نمونه‌وار شاول
۱۶۱.....	۵-۱۱ ملزومات تعادل / موازنه
۱۶۱.....	۶-۱۱ تولید شاول در هر چرخه
۱۶۶.....	۷-۱۱ زمان چرخه
۱۷۰.....	۸-۱۱ تعداد چرخه در هر نوبت‌کاری (شیفت)
۱۷۴.....	۹-۱۱ مثالی درخصوص توان تولید شاول
۱۷۵.....	۱۰-۱۱ رهنمودهای طراحی برگرفته از مقررات
۱۷۶.....	منابع
۱۸۰.....	سیاس‌گذاری
۱۸۰.....	پرسش‌ها و تمرین‌های مروری

۱۸۵.....	فصل دوازدهم - کامیون‌های باربری	۱۸۵.....
۱۸۵.....	۱۲-۱ آشنایی	۱۸۵.....
۱۸۵.....	۱۲-۲ تعیین اندازه کامیون	۱۸۷.....
۱۸۷.....	۱۲-۳ تأمین قدرت کامیون	۱۸۹.....
۱۸۹.....	۱۲-۴ پیش‌برنده کامیون - سامانه‌های محرکه مکانیکی	۱۸۹.....
۱۸۹.....	۱۲-۴-۱ آشنایی	۱۹۲.....
۱۹۲.....	۱۲-۴-۲ نمودارهای عملکرد	۱۹۷.....
۱۹۷.....	۱۲-۴-۳ به‌کارگیری نیروی کشش	۱۹۸.....
۱۹۸.....	بیشترین نیروی کشش ایجادشده	۲۰۰.....
۲۰۰.....	محاسبه و کاربرد نیروی کشنده	۲۰۳.....
۲۰۳.....	۱۲-۴-۴ سامانه‌های کاهندگی (کاهنده سرعت)	۲۱۰.....
۲۱۰.....	۱۲-۴-۵ مشخصات یک کامیون با محرکه مکانیکی نوین	۲۱۵.....
۲۱۵.....	۱۲-۴-۶ سامانه‌های ترمز	۲۱۶.....
۲۱۶.....	۱۲-۵-۱ پیش‌برنده کامیون - سامانه‌های محرکه الکتریکی	۲۱۶.....
۲۱۶.....	۱۲-۵-۱-۱ آشنایی	۲۱۷.....
۲۱۷.....	۱۲-۵-۱-۲ کاربرد گزینه محرکه AC در یک کامیون معدنی بزرگ	۲۲۰.....
۲۲۰.....	۱۲-۵-۱-۳ مشخصات یک کامیون معدنی بزرگ با محرکه AC	۲۲۳.....
۲۲۳.....	۱۲-۵-۴ محاسبه زمان حرکت کامیون	۲۲۴.....
۲۲۴.....	۱۲-۵-۶ پیش‌برنده کامیون - استفاده از سیم برق هوایی (کامیون برقی)	۲۲۴.....
۲۲۴.....	۱۲-۵-۶-۱ آشنایی	۲۲۶.....
۲۲۶.....	۱۲-۵-۶-۲ کامیون کوماتسو 860E برقی (مجهز به سیم هوایی)	۲۲۷.....
۲۲۷.....	۱۲-۵-۶-۳ محاسبه زمان چرخه کامیون برقی کوماتسو 860E	۲۲۷.....
۲۲۷.....	۱۲-۵-۷ محاسبات زمان سفر کامیون - روش‌های دستی	۲۲۷.....
۲۲۷.....	۱۲-۵-۷-۱ آشنایی	۲۲۹.....
۲۲۹.....	۱۲-۵-۷-۲ رویکرد اول: روش معادله حرکت	۲۲۹.....
۲۲۹.....	رفت کامیون بارگیری‌شده	۲۲۹.....
۲۲۹.....	بازگشت کامیون خالی	۲۲۹.....
۲۲۹.....	محاسبات رفت کامیون بارگیری‌شده	۲۳۹.....
۲۳۹.....	محاسبات بازگشت کامیون خالی	۲۴۰.....
۲۴۰.....	۱۲-۵-۷-۳ رویکرد دوم: روش ضریب سرعت	

۲۴۶.....	۸-۱۲ محاسبه زمان سفر کامیون - روش های رایانه‌ای
۲۴۶.....	۱-۸-۱۲ شبیه‌ساز باربری کاترپیلار
۲۴۷.....	۲-۸-۱۲ شبیه‌ساز مبتنی بر ضریب سرعت
۲۴۸.....	۹-۱۲ باربری خودران
۲۵۵.....	منابع
۲۶۳.....	سیاس‌گذاری
۲۶۳.....	پرسش‌ها و تمرین‌های مروری
۲۶۷.....	فصل سیزدهم - قابلیت دسترسی و بهره‌وری ماشین
۲۶۷.....	۱-۱۳ آشنایی
۲۶۸.....	۲-۱۳ جریان زمان
۲۷۱.....	۳-۱۳ قابلیت دسترسی - گروه ۱
۲۷۳.....	۴-۱۳ بهره‌وری - گروه ۲
۲۷۴.....	۵-۱۳ کارایی کاری - گروه ۳
۲۷۴.....	۶-۱۳ کارایی شغلی - گروه ۴
۲۷۵.....	۷-۱۳ کارایی تعمیر و نگهداری - گروه ۵
۲۷۶.....	۸-۱۳ تخمین زمان عملیات و ظرفیت تولید سالانه
۲۸۰.....	۹-۱۳ برآورد زمان عملیات و ظرفیت تولید نوبت کاری
۲۸۴.....	۱۰-۱۳ جریان زمان سالانه در چال‌زنی دورانی
۲۸۸.....	۱۱-۱۳ کاربرد در مطالعات پیش‌امکان‌سنجی (Schumacher, ۲۰۱۲)
۲۸۹.....	منابع
۲۹۱.....	سیاس‌گذاری
۲۹۱.....	پرسش‌ها و تمرین‌های مروری
۲۹۵.....	واژه‌نامه انگلیسی-فارسی
۳۰۵.....	واژه‌نامه فارسی-انگلیسی

پیشگفتار مترجمان

این کتاب ترجمه فصل‌های نهم تا سیزدهم جلد اول ویرایش سوم کتاب طراحی و برنامه‌ریزی معادن روباز (Open Pit Mine Planning and Design) تألیف "ویلیام هوسترویلد"، "مارک کوچتا" و "زندى مارتین" است که در سال ۲۰۱۳ توسط CRC Press (Taylor & Francis Group) منتشر شده است. ویرایش اول، دوم، و سوم این کتاب به ترتیب شامل شش، هشت و سیزده فصل در سال‌های ۱۹۹۵، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۳ منتشر شد. ترجمه ویرایش اول در سال ۱۳۸۳ توسط دانشگاه صنایع و معادن ایران و ترجمه ویرایش سوم در دو نوبت در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۷ توسط انتشارات دانشگاه تهران به چاپ رسید. کتاب حاضر ترجمه فصل‌های نهم تا سیزدهم از ویرایش سوم (پنج فصل اضافه شده به ویرایش دوم) است که با هدف آشنایی دانشجویان مهندسی معدن با عملیات واحد اصلی (چال‌زنی، آتش‌باری، بارگیری و باربری) در معادن روباز نگاشته شده است.

عملیات واحد رایج در معدن‌کاری از معدن با سنگ‌های برجای بسیار بزرگ تا محصول خروجی از کارخانه فرآوری با ابعاد اغلب در حد میکرون، دو عملیات اصلی خرد کردن و انتقال مواد خردشده را شامل می‌شود.

از جنبه اجرایی، خرد کردن سنگ طی دو عملیات چال‌زنی و آتش‌باری تحقق می‌یابد، ولی مؤلفان با این منطق که در طراحی عملیات، کار با طراحی الگوی چال‌ها برای دستیابی به اهداف موردنظر و نتایج مطلوب شروع می‌شود، فصل نهم را به جای "چال‌زنی" به "آتش‌باری" اختصاص داده‌اند. با توجه به تأثیر آتش‌باری در پایداری دیواره‌های معدن، اختلاط باطله با ماده معدنی و بازیابی آن، هزینه‌های معدن‌کاری، سنگ‌شکنی و حتی فلوئاسیون و به‌ویژه هزینه انرژی در فرآیند خردایش در معدن و کارخانه و نقش خردشدگی یا دانه‌بندی سنگ خردشده در این هزینه‌ها، مؤلفان در فصل نهم تلاش داشته‌اند با ارائه توضیحات کافی در خصوص مواد منفجره، مکانیزم انفجار و خرد شدن سنگ بر اثر انفجار، مراحل و مبانی طراحی و اجرایی آتش‌باری، درک یکسانی از مبانی نظری و عملی آتش‌باری بین مهندسان اجرایی و طراحان ایجاد کنند. بر این اساس با محوریت روابط Ash و تعیین سطح پوشش انرژی انفجار در سنگ، روابط و رهنمودهایی برای طراحی الگوی آتش‌باری مناسب و یک خردشدگی مهندسی‌شده و نتایج مطلوب ارائه دهند.

کاربرد گسترده چال‌زنی دورانی در استخراج روباز، دلیل اصلی اختصاص این عنوان به جای عنوان عام چال‌زنی در سنگ در فصل دهم بوده است. مکانیزم شکست مکانیکی سنگ و نقش عمده سرمته‌ها در فرآیند نفوذ مکانیکی در سنگ، مؤلفان را بر آن داشته است که این فصل را با تاریخچه سرمته‌های

مورد استفاده در حفاری دورانی شروع کرده و با توجه به محدودیت‌های برش سرشته‌های دراگ در سنگ‌های سخت و کاربرد گسترده سرشته‌های شیارزن، بحث مفصلی راجع به سرشته‌های سه‌مخروطی دورانی داشته باشند. بخش عمده‌ای از محتوای این فصل به توضیحات لازم در خصوص انتخاب دستگاه چال‌زنی، سرشته و ملزومات رشته حفاری اختصاص یافته است. پارامترهای فنی و اجرایی مؤثر در طراحی و برنامه‌ریزی عملیات و تخمین هزینه‌ها شامل سرعت نفوذ، سرعت دوران، نیروی محوری یا پایین‌رانی، خارج کردن خرده‌های حفاری از چال و سرعت هوارانی، عمر سرشته و عوامل زمانی مؤثر بر ضرایب دسترسی و بهره‌وری بخش‌های پایانی این فصل را تشکیل می‌دهند. سامانه رایج انتقال مواد در اغلب معادن سطحی متوسط و بزرگ مقیاس، بارگیری با شاول و باربری با کامیون است که در فصل‌های یازدهم و دوازدهم با عناوین "بارگیری با شاول" و "کامیون‌های باربری" به آن‌ها پرداخته شده است.

در فصل یازدهم با تمرکز بر شاول‌های کابلی، اجزای اصلی و سیستم‌های محرک، چرخه کار شاول و شیوه‌های اجرایی در بارگیری با آن و همچنین برای بررسی سازگاری بین شاول و کامیون و تأثیر بر هندسه کاواک، ظرفیت صندوق و برخی ابعاد و طرح شاول توضیح داده شده است. چگالی نابرجا و ضریب تورم و پرشوندگی برای تعیین تولید شاول و محاسبه آن، داده‌های زمانی و روابط لازم برای برآورد زمان چرخه و محاسبه تعداد چرخه در هر شیفت همراه با مثال که در بخش‌های پایانی ارائه شده‌اند، امکان تخمین تعداد شاول و برنامه‌ریزی زمانی عملیات بارگیری را فراهم می‌آورند. از آنجایی که هزینه‌های باربری می‌توانند تا ۵۰ درصد کل هزینه‌های عملیاتی را به خود اختصاص دهند، شناخت باربری و به‌ویژه باربری کامیونی برون‌بزرگراهی، با توجه به کاربرد گسترده این کامیون‌ها در معدن‌کاری سطحی، به‌عنوان یک ضرورت موجب اختصاص فصل دوازدهم به این موضوع شده است. این فصل بر توضیح برخی از جنبه‌های کامیون‌ها که مهندسان معدن برای تخمین ملزومات ظرفیت تولید و هزینه‌ها به آن‌ها نیاز دارند، متمرکز است. در این راستا، تعیین اندازه، سامانه‌های محرکه، زمان چرخه باربری و محاسبه ظرفیت تولید کامیون به تفصیل توضیح داده شده است.

زمان‌بندی تجهیزات در معدن‌کاری مستلزم تعیین تعداد تجهیزات برای حفظ تناژ مطلوب و برنامه‌ریزی تجهیزات لازم برای انجام این کار است. تعیین تعداد و زمان‌بندی کل تجهیزات ناوگان، نیاز به محاسبه قابلیت دسترسی و بهره‌وری این تجهیزات و شناخت عوامل مرتبط با این ضرایب و محاسبه زمان‌های مفید در دوره‌های زمانی انجام عملیات دارد. فصل سیزدهم با هدف محاسبه قابلیت دسترسی و بهره‌وری به توضیح این عوامل و زمان‌ها پرداخته است.

علی اصغر خدایاری (استادیار بازنشسته، دانشگاه تهران)

مهدی یآوری شهرضا (عضو هیئت علمی، مربی، دانشگاه تهران)