

О. Г. Латышев

РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

О. Г. Латышев

РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД



“Теплотехник”
Москва, 2007

УДК 622.235

Л27

Рецензенты:

Кафедра строительства подземных сооружений и шахт КузГТУ,
зав. кафедрой д-р техн. наук, проф. *В.В. Першин*;
Главный научный сотрудник Институт горного дела УрО РАН,
д-р техн. наук *В.Е. Боликов*;
Зав. лабораторией разрушения горных пород, канд. техн. наук *В.Г. Шеменев*

Латышев О. Г. Разрушение горных пород. — М.: Теплотехник, 2007. — 672 с.

Разрушение горных пород является главным процессом любой технологии разработки месторождений и обогащения полезных ископаемых. Основным инструментом разработки скальных пород является комплекс буровзрывных работ, включающий процессы бурения шпуров и скважин, формирования зарядов и взрывания ВВ, механического дробления и измельчения пород. Проектирование рациональных параметров техники и технологии данных процессов требует глубокого изучения физики разрушения, экспериментального изучения и прогнозирования основных характеристик процессов в их связи со свойствами и состоянием разрабатываемых пород.

Работа содержит анализ теорий прочности твердых тел и их применимости к процессам разрушения горных пород и породных массивов. На основе рассмотрения физических основ различных способов бурения, взрывания и механического дробления пород обсуждаются методы проектирования соответствующих процессов, прогнозирования и управления характеристиками разрушения в условиях направленного изменения свойств и состояния горных пород.

Книга предназначена для широкого круга горных инженеров, которые в своей научной, проектной и производственной деятельности связаны с решением задач разработки горных пород. Работа также может быть полезной студентам и аспирантам горных вузов и факультетов.

Ил. 172. Табл. 55. Библиогр. список: 198 назв.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	8
Глава 1. Горные породы как объект разработки	9
1.1. Строение горных пород и породных массивов	9
1.2. Силы связи и внутренняя структура горных пород	10
1.3. Теоретическая прочность горных пород	14
1.4. Дефекты кристаллической структуры	17
1.5. Напряженно-деформированное состояние горных пород	19
1.5.1. Напряжения и деформации в горных породах	19
1.5.2. Графическое определение напряжений	22
1.5.3. Упругое деформирование горных пород. Закон Гука	24
1.6. Реологические характеристики горных пород	26
1.7. Горно-технологические характеристики пород	29
1.8. Тепловые свойства горных пород	36
1.8.1. Теплоемкость горных пород	36
1.8.2. Распространение тепла в горных породах	37
1.8.3. Тепловое расширение и термические напряжения в горных породах	39
1.9. Электромагнитные свойства горных пород	40
1.9.1. Электропроводность горных пород	40
1.9.2. Диэлектрическая проницаемость и поляризация горных пород	42
1.9.3. Диэлектрические потери в горных породах	44
1.9.4. Магнитные свойства горных пород	46
1.10. Разрушенные горные породы	48
1.11. Глинистые горные породы	52
1.12. Мерзлые (криогенные) горные породы	56
Глава 2. Теории прочности горных пород	60
2.1. Технические критерии прочности	61
2.2. Теория прочности Мора	62
2.3. Паспорт прочности горных пород	65
2.4. Теория хрупкого разрушения (теория трещин Гриффитса)	67
2.5. Коэффициенты интенсивности напряжений	70
2.6. Динамика роста трещин	72
2.7. Пластическое деформирование горных пород	75
2.8. Кинетическая (термофлуктуационная) теория прочности	80
Глава 3. Прочность и разрушение массива горных пород	86
3.1. Обобщенная теория прочности (диаграмма состояния тел Давиденкова – Фридмана)	86
3.2. Статическая и динамическая прочность горных пород	87
3.3. Длительная прочность горных пород	89
3.4. Прочность массива горных пород	91
3.5. Масштабный эффект в горных породах	93
3.6. Влияние физических полей на прочность горных пород	95

3.7. Разрушение пород в горной выработке	98
3.8. Запредельное деформирование горных пород	100
3.9. Динамическое разрушение пород — горные удары и выбросы	103
3.9.1. Механизм горных ударов и выбросов	103
3.9.2. Характеристики горных ударов	105
3.9.3. Прогнозирование горных ударов	108
3.9.4. Предотвращение горных ударов	114
Глава 4. Бурение горных пород	124
4.1. Классификация способов бурения	124
4.2. Технические средства бурения	125
4.3. Кинематика ударного бурения (теория Н. С. Успенского)	129
4.4. Напряженное состояние горных пород под буровым инструментом	133
4.4.1. Задача Буссинеска	133
4.4.2. Вдавливание плоского штампа	135
4.4.3. Вдавливание сферы и клина	136
4.5. Циклический характер разрушения горных пород при бурении (теория И.А. Остроушко)	137
4.6. Механизмы скола и выкола (теория Ю.И. Протасова)	140
4.7. Динамика процесса бурения	145
4.8. Силовые характеристики резания горных пород	148
4.9. Механизм вращательного бурения горных пород	151
4.10. Особенности вращательно-ударного бурения горных пород	154
4.11. Разрушение горных пород шарошками	156
4.12. Термическое бурение горных пород	160
4.12.1. Физические основы термического разрушения	160
4.12.2. Способы и средства термического бурения горных пород	162
4.12.3. Термомеханическое бурение горных пород	165
4.13. Специальные способы бурения	166
4.14. Износ и затупление бурового инструмента	171
4.15. Образование пыли при бурении горных пород	176
4.16. Удаление шлама из шпуров и скважин	179
Глава 5. Механическое дробление и измельчение горных пород	181
5.1. Механизм дробления	181
5.2. Законы дробления тел	184
5.3. Энергоемкость дробления	185
5.4. Дробление свободным ударом	187
5.5. Методы и средства изучения динамических явлений при ударе	191
5.6. Способы изучения гранулометрического состава разрушенных пород	193
5.7. Анализ качества дробления горных пород	196
5.8. Методы изучения характеристик дробимости горных пород	201
5.9. Обоснование экспериментальной методики оценки дробимости горных пород ударом и взрывом	204
5.9.1. Взаимосвязь характеристик разрушения горных пород ударом и взрывом	204

5.9.2. Оценка точности экспериментальных определений дробимости горных пород	208
5.9.3. Влияние скорости удара на характеристики дробления горных пород ..	211
5.9.4. Влияние формы и размеров образца на характеристики дробимости горных пород	213
5.9.5. Анализ и обобщение результатов	215
Глава 6. Разрушение горных пород взрывом	222
6.1. Основы теории детонации	222
6.2. Общий механизм разрушения горных пород взрывом	226
6.3. Образование ударной волны	229
6.4. Стадии взрывного разрушения горных пород	231
6.5. Разрушение горных пород взрывом сосредоточенного заряда ВВ	234
6.6. Разрушение горных пород взрывом удлиненного заряда ВВ	236
6.7. Совместное действие нескольких зарядов	239
6.8. Разрушение горных пород при последовательном взрывании зарядов ВВ	241
6.9. Кумулятивное действие взрыва	244
6.10. Основные концепции и гипотезы дробящего действия взрыва	245
6.11. Дробление горных пород с позиций теории максимальных напряжений	248
6.12. Энергетическая концепция дробления	251
6.13. Особенности дробления неоднородных массивов горных пород	253
6.14. Сейсмические исследования взрыва	257
6.15. Изучение параметров ударно-воздушных и гидроударных волн	267
Глава 7. Методы и средства изучения напряженно-деформированного состояния и разрушения горных пород	275
7.1. Общая характеристика	275
7.2. Моделирование процессов разрушения горных пород	280
7.2.1. Классы моделей	280
7.2.2. Элементы теории подобия	281
7.2.3. Теоремы подобия	284
7.2.4. Особенности моделирования процессов разрушения	289
7.2.5. Определение свойств материала модели и природы	296
7.2.6. Подбор эквивалентных материалов и формирование модели	311
7.3. Измерение напряжений и деформаций в горных породах	312
7.3.1. Оптические методы	313
7.3.2. Регистрация оптических явлений	320
7.3.3. Тензометрические методы	322
7.4. Исследование характеристик разрушения горных пород взрывом	331
7.4.1. Изучение процессов детонации в зарядах ВВ	331
7.4.2. Изучение действия взрыва в ближней зоне заряда ВВ	338
7.4.3. Изучение кинетики разрушения горных пород взрывом	341
7.5. Проведение экспериментальных исследований	346
7.5.1. Организация и планирование экспериментальных исследований	346
7.5.2. Последовательность проведения эксперимента	354
7.5.3. Обработка и анализ результатов эксперимента	358

7.5.4. Статистическая проверка гипотез о параметрах распределения опытных данных	360
7.5.5. Вероятностные законы распределения опытных данных	363
7.5.6. Дисперсионный анализ	370
7.5.7. Корреляционный анализ	373
7.5.8. Анализ случайных функций	378
Глава 8. Критерии эффективности процессов разрушения горных пород	383
8.1. Общие принципы формирования критериев эффективности	383
8.2. Влияние свойств горных пород на эффективность бурения	385
8.3. Производительность бурения в зависимости от параметров техники и технологии процесса	387
8.4. Критерии эффективности процессов бурения шпуров и скважин	391
8.4.1. Критерии эффективности по фактору производительности процесса ...	391
8.4.2. Критерии эффективности по фактору износа и затупления бурового инструмента	397
8.4.3. Критерии эффективности по фактору пылеобразования при бурении горных пород	402
8.5. Характеристики дробления в зависимости от свойств горных пород и параметров БВР	406
8.5.1. Влияние свойств и строения породного массива на эффективность его дробления взрывом	406
8.5.2. Влияние параметров БВР на эффективность дробления пород взрывом .	409
8.6. Критерии эффективности дробления горных пород	414
Глава 9. Управление свойствами и состоянием горных пород в процессах разрушения	424
9.1. Увлажнение горных пород	424
9.2. Поверхностно-активные вещества и эффект Ребиндера	426
9.3. Выбор эффективной поверхностно-активной среды	428
9.4. Управление трещиноватостью горных пород	435
9.5. Разупрочнение горных пород поверхностно-активными веществами	441
9.6. Пластифицирование горных пород поверхностно-активными веществами ...	446
9.7. Изменение реологических характеристик горных пород	452
Глава 10. Прогнозирование параметров и проектирование процессов разрушения горных пород	464
10.1. Классификация горных пород	464
10.2. Прогнозирование свойств горных пород	471
10.2.1. Общие принципы прогнозирования	471
10.2.2. Тренд-анализ изменчивости свойств горных пород	474
10.2.3. Корреляционный анализ как инструмент прогнозирования	482
10.2.4. Модель взаимосвязи свойств горных пород	484
10.2.5. Экспресс-метод оценки свойств горных пород	490
10.2.6. Учет влияния физических полей на свойства горных пород	506
10.2.7. Учет масштабного эффекта	508

10.3. Прогнозирование эффективности процессов разрушения горных пород	510
10.4. Контроль изменения свойств и состояния горных пород поверхностно-активными веществами	518
10.5. Проектирование процессов бурения горных пород	525
10.5.1. Организация процессов бурения	525
10.5.2. Общие принципы проектирования процессов бурения	529
10.5.3. Проектирование оптимальных параметров процесса бурения скважин	531
10.5.4. Проектирование процесса бурения шпуров	534
10.6. Процессы резания горных пород комбайнами	537
10.7. Проектирование параметров БВР с учетом требуемой степени дробления горных пород	544
10.8. Проектирование параметров БВР на основе статистики активируемых взрывом нарушений в горной породе	554
10.8.1. Влияние нарушенности горных пород на результаты их дробления взрывом	554
10.8.2. Оценка параметров распределения активируемых нарушений	558
10.8.3. Прогнозирование качества дробления горных пород с заданной степенью надежности	561
Глава 11. Использование поверхностно-активных веществ в процессах горного производства	564
11.1. Бурение шпуров и скважин	564
11.1.1. Моделирование процесса бурения	565
11.1.2. Организация опытно-промышленных испытаний	567
11.1.3. Повышение производительности бурения	570
11.2. Резание горных пород комбайнами	577
11.3. Износ и затупление породоразрушающего инструмента	579
11.4. Борьба с пылью	584
11.5. Разрушение горных пород ударом и взрывом	588
11.6. Борьба с горными ударами	603
11.7. Насыщение породного массива активными растворами	610
11.8. Воздействие поверхностно-активных веществ на окружающую среду	618
11.9. Оптимизация процессов проходки горных выработок с использованием ПАВ	622
11.9.1. Общие принципы оптимизации	622
11.9.2. Комплексный анализ параметров технологии горнопроходческих работ	624
11.9.3. Математическая модель и алгоритм оптимизации	629
Заключение	631
Библиографический список	632
Приложения	642