Записки Ленинградского горного института им.Г.В.Плеханова.
Т. 125. Л., 1991

УДК 622.235

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ЛЕНИНГРАДСКОГО ГОРНОГО ИНСТИТУТА В ОБЛАСТИ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Н.Г. ПРОСКУРЯКОВ

Исследования по проблеме разрушения горных пород в институте имеют особенности, обусловленные учебным его характером и финансированием научных исследований промышленными предприятиями. Это прежде всего необходимость синтезирования новейших исследований по разрушению горных пород и их обобщение с целью преломления их в учебные программы, а с другой стороны – решение непосредственно прикладных задач, связанных с работой предприятий. Вместе с тем в институте ведутся работы и по фундаментальным вопросам физики и механики разрушения горных пород.

Исследования по разрушению горных пород ведутся в институте по следующим основным направлениям:

1) изучение зависимости прочностных свойств пород от их состава, условий естественного залегания, характера нагружения;

2) определение влияния на прочностные свойства горных пород искусственных факторов;

3) изучение энергетики разрушения;

4) исследование закономерностей дробления и математическое описание гранулометрического состава пород при различных видах нагружения;

5) исследование напряженного состояния горных пород при взрыве;

6) изучение закономерностей и особенностей взрывного разрушения горных пород, направленного их разрушения и разрушения вмещающих пород и отдельных кристаллов;

7) изучение влияния свойств ВВ, условий заряжания, свойств горных пород на характер и энергоемкость разрушения;

8) разработка физико-механических и математических моделей разрушения горных пород;

9) исследования перемещения горной массы при взрыве;

10) решение прикладных задач разрушения горных пород при взрыве и при бурении;

11) разработка новых технологий буровзрывных работ для решения задач промышленности по добыче полезных ископаемых.

Исследования механики предельных и запредельных состояний горных пород: однородных, неоднородных, трещиноватых, газонасыщенных – при различных типах и скоростях нагружений выполняются на базе отраслевой лаборато-

рии физики и механики горных пород. В настоящее время в лаборатории ведутся исследования природы прочности, деформации и разрушения горных пород при высоких термодинамических параметрах применительно к проблемам сверхглубоких скважин и состояния породы на этих глубинах. Результаты экспериментальных исследований обобщаются на базе статистической модели неоднородного твердого деформируемого тела с привлечением кинетической теории и методов механики сплошной среды.

В лаборатории ведутся также исследования энергетического баланса деформирования и хрупкого разрушения. Результаты экспериментов позволили ввести уточнения в дилатансионную модель разрушения горной породы, с использованием которой на кафедре вычислительной и прикладной математики выполнены расчеты камуфлетного взрыва. Разрабатываются методы расчета предельного состояния породы вокруг выработок, целиков и массивов.

Разрушение породы и льда при вращательном бурении исследуется на кафедре техники и технологии бурения скважин. При температурах выше -4 °С лед ведет себя при разрушении пластично, а при более низких температурах переходит в состояние хрупкого разрушения, поэтому изучение этой проблемы интересно и в методическом плане. На кафедре изучается резание при бурении хрупких материалов как периодический скол отделяемых элементов по плоскостям скольжения, а также тепловые процессы, влияющие при бурении на прочностные характеристики горных пород. С этой целью разрабатываются математические модели процессов тепломассопереноса при бурении скважин с учетом изменения температуры в промывочной среде.

Исследования по проблеме разрушения горных пород взрывом выполняются на кафедрах разрушения горных пород и разработки месторождений открытым способом. Основные результаты носят прикладной характер, определяемый нуждами заказчиков - горных предприятий.

На кафедре разрушения горных пород решаются следующие задачи:

1) выбор оптимальных условий взрыва с целью достижения заданной степени дробления горной массы;

2) разработка методов управления перемещением и разлетом взорванной горной массы;

3) анализ и управление гранулометрическим составом при взрывной отбойке в зависимости от условий взрыва и характеристик горной породы;

4) разработка конструкций зарядов ВВ и их составов для проведения отбойки блочного камня; способов использования удлиненных кумулятивных зарядов;

5) разработка теоретических основ направленного взрыва и технологических рекомендаций для взрывной проходки горных выработок;

6) обеспечение безопасности взрыва в условиях образования воспламеняющихся и взрывающихся пылегазовых смесей;

7) исследование разрушения кристаллов и обеспечение их сохранности при взрывном разрушении вмещающей породы;

8) анализ влияния трещин и их заполнителей на интенсивность волн напряжений, а также на параметры разрушения горной породы;

9) разработка способов применения ВВ на основе местного сырья в различных регионах с целью оптимизации разрушения горных пород;

10) разработка составов горячельющихся ВВ и способов их заряжания;

11) исследование безопасных условий ведения взрывных работ по факторам ударной воздушной волны и сейсмического действия взрыва;

12) разработка конструкций водозащитных зарядов при проведении буровзрывных работ в обводненных скважинах;

13) разработка технологических процессов и механизированных комплексов для использования горячельющихся ВВ.

Кроме того, на кафедре ведутся исследования по фундаментальным проблемам разрушения горных пород.

1. Исследование поля напряжений при взрыве одиночных и групповых зарядов в безграничной среде и с учетом граничных поверхностей. В приближенных постановках с учетом энергетического подобия и обобщенного описания свойств среды составлены программы расчета полей напряжений от любых сочетаний зарядов и способов их инициирования с учетом влияния граничных поверхностей. Готовятся программы численного интегрирования уравнений механики сплошной среды с использованием известных упрощающих моделей горных пород.

Разработаны программы для расчета влияния трещин с различными заполнителями на интенсивность волн напряжений. С помощью таких программ изучается распространение волн напряжений в горных породах с различной трещиноватостью.

Составлена и отлажена программа численного решения двумерной задачи о взрыве вблизи свободной поверхности в термодинамической постановке. Задача решается методом "крупных частиц". Уравнение состояния грунта принимается в форме Тэта, воздуха – в табличной форме.

2. Исследования разрушения горных пород при взрыве. Работы ведутся в следующих направлениях:

а) исследования диссипации энергии в ближней зоне взрыва на основе экспериментальных измерений эпюр давлений и массовых скоростей и их пересчета на основе уравнений механики сплошной среды;

б) применение различных критериев разрушения к процессам развития трещин, их слияния и образования кусков в зависимости от условий взрыва;

в) статистическая обработка результатов определения гранулометрического состава взорванной горной массы и представление их в форме законов распределения;

г) влияние трещин в массиве на прочность горных пород и на поля напряжений;

д) влияние типа, ориентации и размеров кристаллов на прочность вмещающих горных пород;

е) исследование процессов развития трещин при направленном разрушении горных пород с помощью систем осесимметричных и кумулятивных зарядов.

Указанное разделение проблем разрушения горных пород на фундаментальные и прикладные вопросы довольно условно. Так, проблема дробления

горных пород взрывом, изучением которой кафедра занимается последние 10 лет, является одновременно и важной технологической проблемой, определяющей качественные показатели работы оборудования горного и обогатительного циклов, и актуальной научной проблемой, связанной с исследованием физических аспектов процессов разрушения среды под действием интенсивных импульсных нагрузок.

Каждая из этих проблем определяет методы и средства решения конкретных задач, причем на лабораторном уровне решаются в основном физические задачи с использованием методов физического и математического моделирования процессов распространения волн напряжений, перемещения кусков горной массы, распространения интенсивной сейсмической и ударно-воздушной волн. Эти вопросы решаются расчетными методами и экспериментально в лабораторных и полигонных условиях.

Результаты уже выполненных работ позволяют прогнозировать изменения характеристик кусковатости в зависимости от массы и энергии зарядов, способов их инициирования и времени замедления между группами. Наиболее актуальным теоретическим вопросом этой большой проблемы были и остаются поиски критериев разрушения конкретных массивов горных пород, что требует создания математической и физической моделей среды, по свойствам адекватных реальному горному массиву, содержащему неоднородности всех видов: от дислокаций до магистральных трещин.

Технологическая проблема достижения оптимального качества дробленого взрывом массива включает в себя анализ и обобщение характеристик кусковатости для различных пород и месторождений, разработку статистических моделей для адекватного описания реальных систем кусков горной массы с достаточной точностью, анализ влияния характеристик крупности на работу горного и обогатительного оборудования с целью расчета оптимальной степени дробления горных пород взрывом в конкретных условиях.

Большой объем изученного материала позволил сделать вывод о невозможности такого регулирования качества дробления, при котором одновременно уменьшались бы доли мелких и крупных кусков. Определены оптимальные условия формирования совокупности дробленого взрывом материала, при которых обеспечивается наибольшая экономическая эффективность работы предприятий, что особенно важно для карьеров и дробильно-сортировочных заводов строительных материалов.

Важной проблемой является прогноз нарушенности (изменения прочности) кусков различной крупности в дробленом материале при вариации параметров буровзрывных работ. Исследования этих проблем проводятся, как правило, на горных предприятиях в условиях реальных массивов и полномасштабных взрывов.

Как известно, наиболее информативной характеристикой процесса действия энергии взрыва в твердой среде являются сейсмовзрывные волны. Поэтому при выполнении исследований широко используется регистрация параметров сейсмовзрывных волн в ближней и в дальней зонах взрыва. Такие исследования выполняются в лабораторных и в полигонных условиях.

Совместно с НПО "Краснознаменец" и Технологическим институтом имен Ленсовета кафедра разрушения горных пород решает проблему теоретическог обоснования, технического и технологического обеспечения направленного разрушения горных пород. Речь идет либо о создании с помощью взрыва единичной трещины в определенном направлении или по определенному контуру, либо о разрушении горных пород внутри некоторого контура с сохранением прочностных свойств породы в законтурном пространстве. Эти работы включены Ленгорисполкомом в суперпрограмму по внедрению технологий в области строительства и строительных материалов.

При взрывном разрушении горных пород заметную роль играет взаимодействие падающей и отраженной от границы раздела волн с развитием откольных явлений. В акустической постановке эта задача решалась на кафедрах разрушения горных пород и высшей математики. В дальнейшем предполагается решение этой задачи в более полной постановке.

В течение ряда лет в Мехотраслевой научно-исследовательской лаборатории разрушения горных пород взрывом ведутся исследования разрушения кимберлитовых руд и механики разрушения расположенных в них кристаллов алмазов под действием волн напряжений и квазистатического давления продуктов детонации при взрыве, а также при механических нагружениях в процессе обогащения. Такие исследования позволили сформулировать ряд полезных предложений по технологии взрывных работ, обеспечивающей сохранность кристаллов при взрывном разрушении вмещающей породы.

Проблема разрушения горных пород взрывом тесно связана с исследованиями влияния свойств ВВ на процесс разрушения. Такая задача имеет особенно большое значение при направленном разрушении пород и щадящем взрывании.

Здесь исследования ведутся в следующих направлениях:

1) влияние свойств и состава ВВ на поля напряжений и разрушение горных пород;

2) разработка рекомендаций по условиям заряжания ВВ с целью обеспечения заданных эффектов по дроблению горных пород;

3) разработка рекомендаций по условиям размещения сетки скважин, глубин скважин и условиям взрывания для рационального использования энергии взрыва;

4) разработка новых составов ВВ (горючелющихся, простейших ВВ местного приготовления) и оценка их свойств.

В Проблемной научно-исследовательской лаборатории по разрушению горных пород мощными быстропеременными электромагнитными полями в течение ряда лет ведутся систематические теоретические, экспериментальные, научно конструкторские исследования по использованию СВЧ-электромагнитных полей для предварительного снижения прочности мерзлых горных пород перед их последующим механическим разрушением.

Изучение воздействия СВЧ-поля на породу осложняется тем, что изменение электрических свойств пород в процессе воздействия влияет на распределение в породе электрического поля и одновременно на распределение тем-

пературного поля, поскольку источники температурного поля зависят и от электрических свойств породы, и от комплексной амплитуды напряженности электрического поля.

В ходе экспериментальных исследований были измерены ранее неизвестные величины комплексной относительной диэлектрической проницаемости в диапазоне разрешенных для промышленного использования частот поля, выяснена физическая причина снижения прочности в электромагнитных полях, выполнен большой объем теоретических исследований по изучению различных режимов воздействия полей на породу. Экспериментальная проверка этих результатов показала хорошее совпадение (до 10-20 %) теоретических результатов с экспериментальными.