

## Как сейсморазведка помогла изменить угольную промышленность в Китае

### How seismic has helped to change coal mining in China

Цао Пу<sup>1</sup> и Ву Хизун<sup>2</sup>  
(Zhao Pu<sup>1</sup> and Wu Xizun<sup>2</sup>)

Уголь – основной источник энергии в Китае и на него приходится свыше 65% от всего потребления энергии страной. Китай находится на первом месте в мире по добыче угля и на третьем по запасам.

В Геологических отчетах, использовавшихся для проектирования и разработки угольных шахт в прошлом (до 1991) большое количество шахт эксплуатировались без проведения сейсмической съемки), были возможны определения разломов со смещением более 30м. Такие отчеты не отвечают современным стандартам, необходимым для проведения проектирования и разработки шахт.

Из-за невысокой точности геологических отчетов несколько проектов разработки оказались нереализуемыми. Некоторые штольни и шахты были затоплены, когда неожиданно обнаруживалась новая геологическая структура.

Принимая во внимания с одной стороны огромные экономические потери, причиной которых являются геологические неопределенности, а с другой потенциально высокое разрешение, которое могут предоставить сейсмические технологии, Национальная Энергетическая Инвестиционная Корпорация в 1991 году издала программный документ (№.612). В нем говорится, что перед началом любого планирования или разработки угольной шахты на месте требуется провести сейсмическую съемку. Ведение горных работ без предварительного сейсмического отчета было запрещено. Введения новых нормативов способствовало использованию высокоразрешающих сейсмических съемок при строительстве и разработке угольных шахт. Это ознаменовало новый этап в истории угольной промышленности в Китае.

С 1991 по 1993 проводилась только 2D сейсмика. Однако вскоре выяснилось, что геологические отчеты, использующие информацию 2D сейсмики, не в полной мере отвечают требованиям, необходимым для разработки и эксплуатации угольных шахт. Первая 3D съемка была проведена на территории угольной шахты Хиекаяо (Xieqiao) по заказу Горного Бюро Хуай-Нан (Huai Nan Bureau of Mining) в 1993. С тех пор 3D съемка быстрыми темпами стала осваиваться угольной промышленностью Китая. К настоящему моменту на 3D работы приходится до 95% от всех сейсмических работ в угольной отрасли, в то время, как на 2D лишь 5%. К концу октября 2003 года было завершено 350 проектов сейсмических 3D съемки, покрывающих в общей сложности 600 км<sup>2</sup>. Было показано, что сейсмика дает возможность обнаруживать до 85% разломов со смещением больше 5м и колонны обрушения диаметром более 20м [1]. Детализированные геологические результаты сыграли важную роль в оптимизации планирования шахт. Помимо этого, они смогут продлить эксплуатационный срок шахты, повышая безопасность работы в ней, и принести значительные экономические выгоды угольным компаниям Китая.

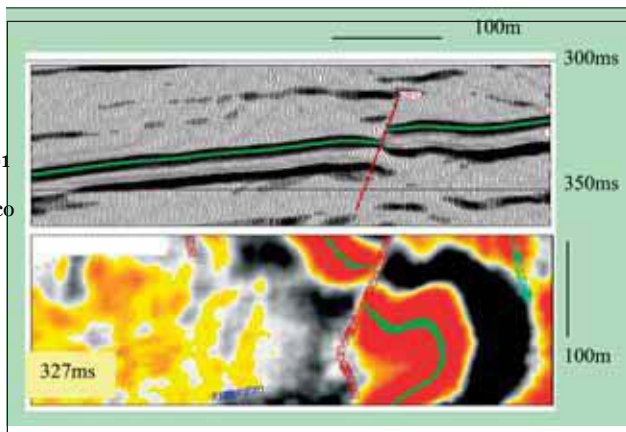


Рисунок 1 Разлом на разрезе (сверху) и временной слайс (снизу)

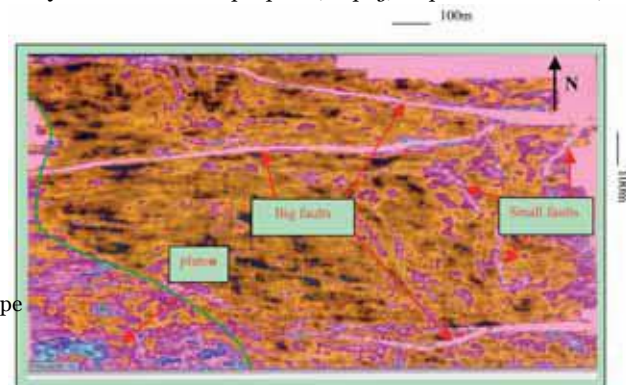


Рисунок 2 На горизонтальном слайсе отображен разлом с большим смещением (более 30м) и с маленьким смещением (менее 30 м).

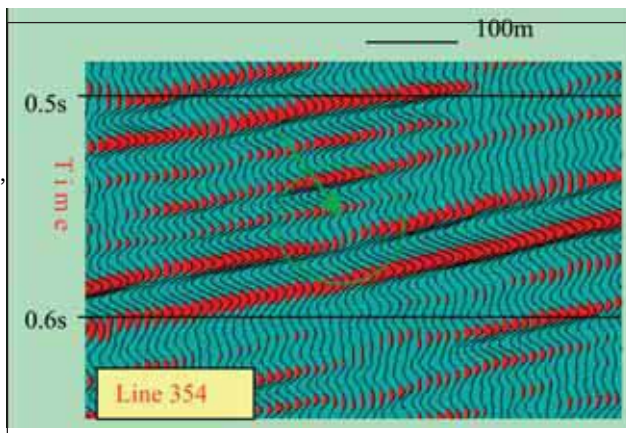
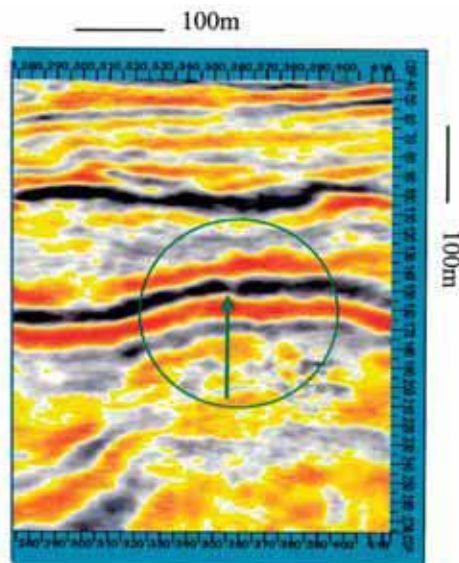


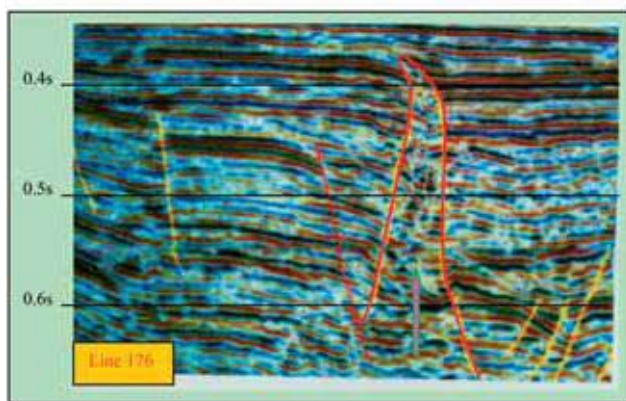
Рисунок 3 Вид небольшого разлома на разрезе

<sup>1</sup>Zhao Pu, E-mail: zgmdtzzj\_kcc@cnacg.com <sup>2</sup> Wu Xizun, E-mail: zgmdtzzj\_kcc@cnacg.com

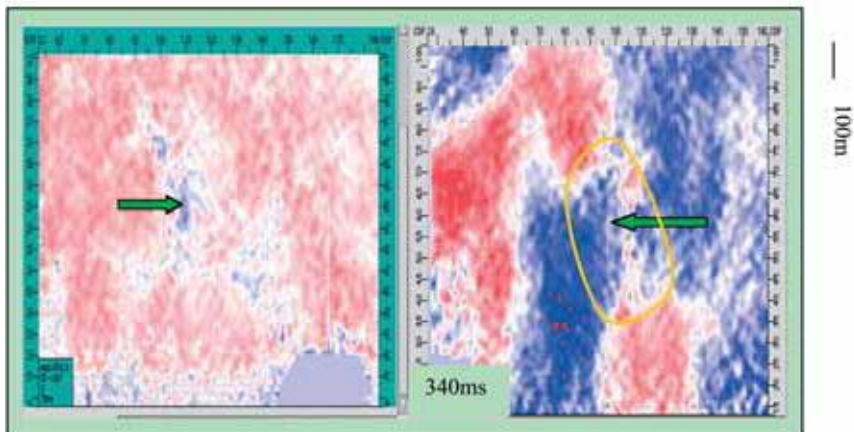
Для проведения 3D сейсмической съемки на уголь в различных условиях и улучшения ее разрешенности была разработана новая методика и аппаратура измерений. Методика заключала в себе использование современного программного обеспечения для оптимизации планирования и разработки шахты и улучшение разрешенности сейсмических наблюдений.



**Рисунок 4** Мелкий разлом, выделенный на временном слайсе.



**Рисунок 5** Колонна обрушения на временном разрезе.



**Рисунок 6** Колонна обрушения на горизонтальном слайсе (слева) и временном слайсе (справа).

При работах особое внимание было обращено на то, чтобы в нормальных наземных условиях заряды размещались ниже уровня грунтовых вод, а в известняках в горных районах на глубине не менее 2м. Высокочастотные цифровые геофоны – пример использования новейших технологий.

Последнее время исследовательская программа направлена на развитие технологии полного цикла обработки в вычислительных центрах таких, как Исследовательский институт Угольной Разведочной Геофизики. Там разрабатываются и изучаются методы обработки 3D данных и методы коррекции статики в сложных районах. Кроме того, улучшается точность интерпретации сейсмической съемки для угольных задач, когда применяют метод комплексной интерпретации, объединяющий разрез, плоскость и объем. Интерпретация выполняется совместно инженерами из разведочных компаний, имеющих большой опыт работы в геофизике и хорошо знакомых с сейсмическими технологиями, и экспертами из горнодобывающей отрасли, обладающих знаниями по геологии и ведению горных работ, включая локальную геологическую информацию о районе проведения сейсмических работ. Общеизвестно, что вся необходимая информация из любых исходных геологических отчетов и опыта ведения горных работ должна быть использована на всех этапах сейсмической работы: проектирования, обработки и интерпретации.

Сейсмическое изучение районов угольных шахт позволит решить большое число геологических проблем. Одна из них - определение малоамплитудных разломов. Это можно легко сделать на временных разрезах, временных слайсах (Рисунок 1) и горизонтальных слайсах (см Рисунок 2).

Разломы со смещением от 3 до 5м не могут быть выявлены по признаку прекращения прослеживания оси синфазности, однако они, конечно же, приводят к уменьшению амплитуды. При просмотре деталей разреза (Рисунок 3) и временных слайсов (Рисунок 4) мы нашли около 60% разломов со смещением от 3 до 5м, которые могут быть интерпретированы исходя из данных 3D. [1]



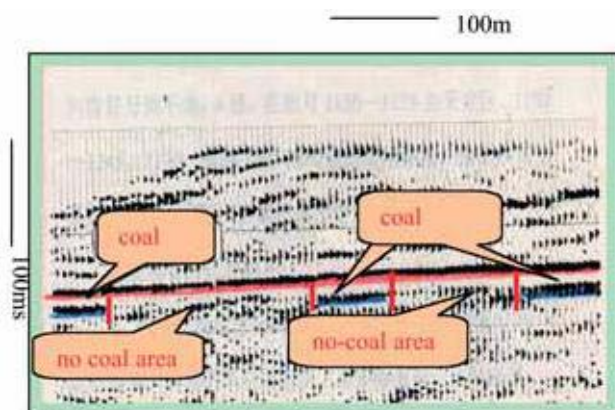


Рисунок 7 Области, не содержащие угля, на разрезе

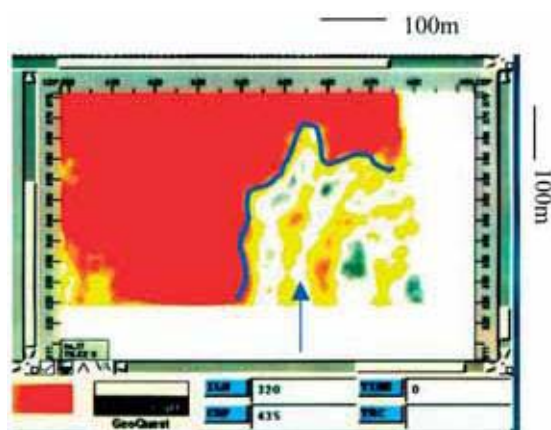


Рисунок 8 Области, не содержащие угля, на горизонтальном слайсе

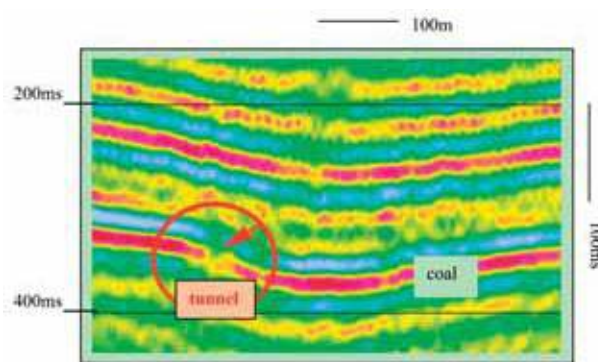


Рисунок 9 Вид штольни на разрезе

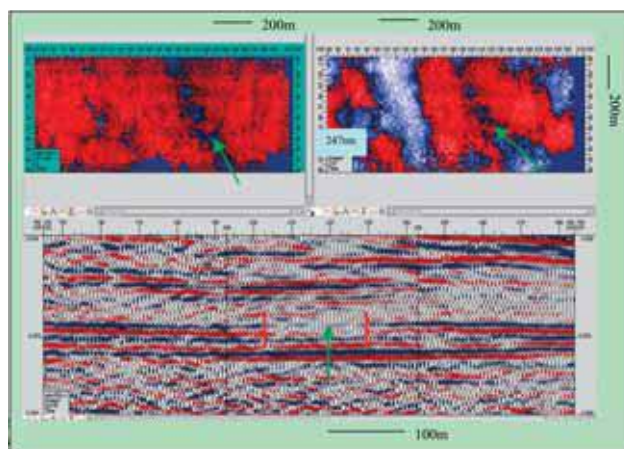
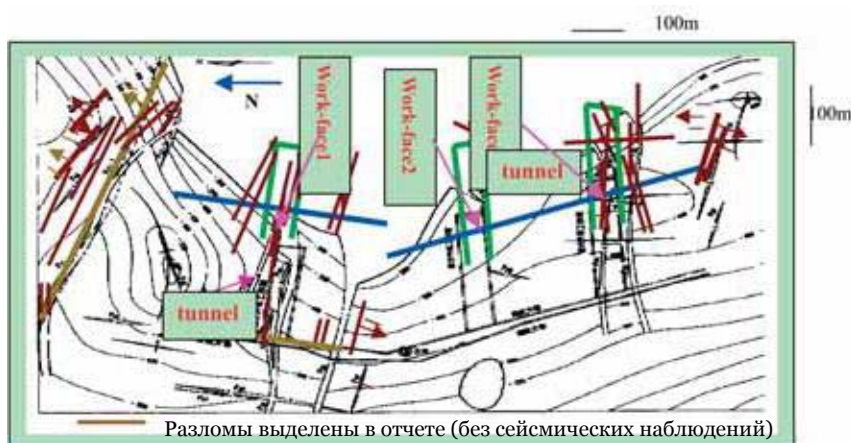


Рисунок 10 Подземная река на разрезе (сверху слева), временной слайс (сверху справа) и разрез (внизу).



- Разломы выделены в отчете (без сейсмических наблюдений)
- Faults provided by the report of 1993 (with seismic survey)
  - Work-face designed according to the report of 1987 (without seismic survey)
  - Tunnel designed according to the report of 1987 (without seismic survey)
  - The strike of coal \_-1
  - Caved pillar

Рисунок 11 В соответствии с отчетом 1987 года забой 1 и забой 3 были размещены в зоне разломов. При прокладке штольни было неожиданно встречено несколько разломов.

Сейсмическая съемка может быть использована для выявления колонн обрушения. Очень много подобного рода структур находится в шахтах в районе провинции Шанкси (Shanxi), что представляет очень серьезную проблему для разработки шахты [2]. В 1996 году она была решена с помощью использования 3D сейсмической съемки. Проявления колонн обрушения на временных разрезах вы можете увидеть на рисунке 5, а их проявление на временных и горизонтальных слайсах показано на рисунке 6.

Сейсмическая съемка может также способствовать поиску участков, из которых был извлечен уголь. После извлечения угля на поверхность на сейсмическом разрезе пропадают явные отражения, отвечающие за угольные пласты (Рисунок 7). Кроме того, мы можем использовать горизонтальный слайс для оконтуривания областей, не содержащих угля (Рисунок 8).

С помощью сейсмики могут быть определены старые туннели. Так, к примеру, был обнаружен туннель размером 3х3 м, который отчетливо виден на временном и горизонтальном слайсах (Рисунок 9).

Другим применением сейсмики может являться поиск и картирование подземных рек, вымывающих уголь. Степень эрозии может быть выявлена на временных разрезах и слайсах, а зоны эрозии определяются по горизонтальным слайсам (Рисунок 10).

Таким образом, сейсморазведка оказывает значительное влияние на угольные компании в Китае, позволяя им применять полученную геологическую информацию при проектировании, строительстве и эксплуатации шахт. Среди возможностей использования - определение малоамплитудных разломов и картирование колонн обрушения и районов старых шахт для облегчения эксплуатации шахт и повышения безопасности.

Классическим примером является угольная шахта Ченсилю (Chensilou), где в 1993 году была проведена сейсмическая съемка. В геологическом отчете 1987 года, не учитывающим данные сейсморазведки, было выделено лишь два разлома в данном районе. Следуя этой информации, компания-разработчик угольной шахты запланировала там три забоя. Однако после проведения сейсмической съемки выяснилось, что вместо 2 разломов там находится 24 разлома, и вдобавок две из трех забоев размещены точно в зоне разломов (Рисунок 11). Первоначальный план эксплуатации был исправлен в соответствии с результатами сейсмических наблюдений. В итоге потенциальная опасность затопления шахты из-за необнаруженных разломов была устранена. По приблизительным подсчетам, спасение угольной шахты сэкономило порядка \$20 миллионов [3].

#### Преимущества сейсморазведки (подзаголовок)

В 1997 объединенная группа Национального Банка Развития и CNACG посетила 41 шахту с целью оценки эффективности применения 2D сейсмических работ в угольной отрасли с 1991 года. В их заключение говорилось о прибыли в размере RMB 10.044 миллиардов юаней, из которых RMB 5.098 миллиарда юаней (50.75% от всей суммы) результат изменения первоначального проекта шахты; увеличение угледобычи позволило заработать RMB 4.557 миллиарда юаней (45.37%); и RMB 0.15 миллиардов юаней (1.5%) предотвращенных потерь.

В 2001 году инженеры из сейсмических партий и профессионалы по горным работам собрались вместе для обсуждения влияния использования 3D сейсморазведки в районах разработки угольных месторождений и возможные трудности в дальнейшем. Встреча показала, что многие компании начали осознавать необходимость 3D сейсмических наблюдений при проведении работ. К примеру, 3D съемка на угольном бассейне Панци (Panxie) Горного Бюро Хуайнан (Huainan) позволила оптимизировать проектный план разработки месторождения и увеличить длину забоя по простиранию с 1000 м до 2000 м и более, кроме того, продлив безаварийную работу шахты на 10 лет.

По словам представителей угольных компаний за последние семь лет благодаря 3D сейсморазведке они увеличили добычу до RMB 640.51 миллионов юаней, с уплатой налогов в размере RMB 83.24 миллионов юаней и чистой прибылью RMB 109.82 миллиона юаней. Были предотвращены потенциальные потери в размере RMB 0.252 миллиардов юаней, а подсчетные запасы угля в шахтах возросли до 208 миллионов тонн.

Четвертая угольная шахта - Yangquan Mine Bureau скорректировала свой первоначальный проектный план разработки в соответствии с отчетом по данным 3D сейсмической съемки. Простирание было изменено с направления юг-север на восток-запад во избежание встречи с колонной обрушения. Ежегодная добыча была изменена с 1.2 миллиона тонн до 900.000 тонн, что в результате сохранило инвестиции в объеме RMB 30 млн. юаней.

#### Выводы

Было показано, что 3D сейсмические наблюдения – лучший способ решения геологических проблем в угольных шахтах в Китае, что было доказано успехами в этой области. С помощью сейсморазведки можно детально изучать геологические структуры такие, как малоамплитудные разломы, колонны обрушения, области выработки в шахтах и зоны затопления. Геологические отчеты, не содержащие данные сейсмических наблюдений, недостоверны и рискованны для проектирования и разработки угольных шахт. Отчеты, содержащие помимо геологических исследований сейсмическую информацию, намного больше соответствуют реальным геологическим структурами и, следовательно, значительно надежнее.

С 1991 года сотни отчетов с сейсмическими данными использовались для проектирования и эксплуатации угольных шахт, что благоприятствовало экономическому развитию угольных компаний Китая. С помощью 3D сейсмических данных было установлено около 85% всех разломов с амплитудой смещения более 5м и около 60% со смещением от 3 до 5м.

#### Благодарности

Мы благодарим Исследовательский Институт Угольной Разведочной Геофизики Китая и другие угольные сейсмический компании за предоставление данных 3D съемок и разрешение использовать их результаты. Цао Пу (Zhao Pu) благодарит г-на Клуэра (Kluger) из BGR (Германия) за помощь в загрузке данных в Geoframe и работе над ними. Он также благодарит своего наставника, доктора Брам (Bram), и своих коллег г-жу Видерхолд (Wiederhold), г-на Бинот (Binot) и г-на Бунесс (Buness) из Института Прикладных Геонаук (Institute for Applied Geosciences (GGA)) в Германии за помощь на протяжении всей работы. И, наконец, автор очень признателен за поддержку Китайского Образовательного Совета (China Scholarship Council).

#### Ссылки

- <sup>1</sup>Ni Bin, Zhao Pu, Wu Xizun [2001] A Collection of Papers on 3D Seismic Surveys in the Coal Mining Area in China, 1-8, China University of Mining And Technology, Beijing.
- <sup>2</sup>Ni Bin, Zhao Pu, Wu Xizun [2001] A Collection of Papers on 3D Seismic Surveys in the Coal Mining Area in China, 55-59, China University of Mining And Technology, Beijing.
- <sup>3</sup>Ni Bin, Zhao Pu, Wu Xizun [2001] A Collection of Papers on 3D Seismic Surveys in the Coal Mining Area in China, 75-78, China University of Mining And Technology, Beijing.