



Содержание влаги в руде Область применения ЯМК

Проблематика

Залежи руды в зоне аэрации истощаются, поэтому горнодобывающие компании вынуждены извлекать руду из пласта ниже уровня грунтовых вод с присутствием большого объема воды. Компании заинтересованы в полевой оценке объема воды в залежах руды и плотности сухого вещества, а также пористости и проницаемости вадозного слоя вертикально и латерально по всему рудному месторождению и перекрывающим породам.

Полученные модели распределения обеспечат качественную работу разных групп, ответственных за каждый этап производственной цепочки и сбыта - от оценки ресурса до поставки. Например, такие модели распределения помогут определить стратегии дренирования, понять пригодность руды, определить характеристики камнедробильной установки, оптимизировать подачу сырья и обеспечить оптимальное содержание влаги для безопасной транспортировки.

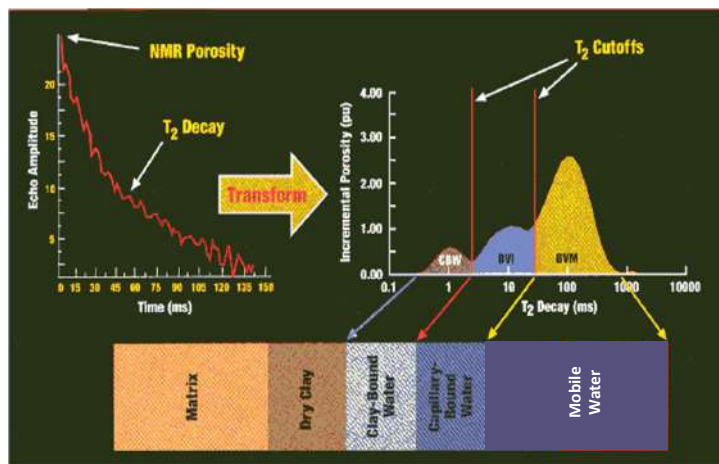


	Преимущества 3D- моделей распределения с показателями по влажности, удельному дебиту и плотности сухого вещества
Геофизик	Точная оценка ресурса, моделирование и определение типов руды (например, геотит)
Металлург	Более точные прогнозы по работе с материалом, свойствам потока и характеристикам рудной смеси в качестве исходного сырья для дробильных устройств
Гидрогеолог	Более четкая характеристика водоносных горизонтов и водоупоров, комплексное моделирование восстановления грунтовых вод, усовершенствованная стратегия откачки воды, более подходящие габариты и расположение насосов для откачки воды и более эффективное планирование разработки рудника
Геотехник	Четкое понимание устойчивости откосных сооружений карьера и простая идентификация открытых и закрытых трещин (с помощью акустического АВИ и оптического телевидения ОБИ)

Содержание влаги должно соответствовать транспортабельному пределу влажности (ТПВ), обозначенному кодексом МКМПНГ. Снижение влажности в конечном поставляемом продукте дает значительные экономические преимущества. Пористость руды может достигать ~40%, а содержание влаги ниже уровня грунтовых вод достигает до ~16%. Снижение в 1% с 9-8% потенциально экономит \$63 млн с учетом фрахтовых расходов при транспортировке из Австралии в Китай (стандартные фрахтовые расходы на транспортировку груза весом 680 млн.т составляют \$8 за тонну). Для Бразилии при транспортировке 340 млн.т. железной руды при более высоких фрахтовых расходах в примерно \$20 за тонну экономия составит \$81 млн. Однако более сложная природа геологии карьеров и факторы, влияющие на движение грунтовых вод, дают неточную полевую оценку содержания влаги в руде с применением традиционных измерений на месте *in-situ*.



Новый метод в полевых условиях



Как правило, содержание влаги в руде определяется *ex-situ*: образцы высушивают в печи и сравнивают массу образца до и после. Сейчас такие замеры (удельный дебит, удельное водоудержание, плотность сухой материнской породы и проницаемость) можно выполнить непосредственно на месте при помощи технологии ядерно-магнитного резонанса (ЯМК) *in-situ*. Эта технология специально разработана для определения заполненных жидкостью пор, что позволяет избежать поправки на содержание материнской породы и не требует специальной калибровки под литологию пласта. Такая современная технология отличается от замеров, зависящих от литологии пласта при использовании традиционных инструментов каротажа.

Особенности и преимущества

Десятилетиями ЯМР применялся в отношении сбора данных по нефтяным и газовым скважинам, однако до недавнего времени этот метод не применялся в железорудной промышленности из-за габаритов оборудования для ЯМР и высокой себестоимости сбора данных. Компания NMRSA разрешила эту проблему за счет разработки современного компактного устройства каротажа на основе магнитного резонанса (МР).

- Современные технологии обработки последовательности сигналов ЯМР позволяют с высокой степенью точности и достоверности определить содержание влаги, удельный дебит и удельное водоудержание.
- Постоянный сбор данных позволяет проследить изменения в распределении влаги в течение определенного времени, в результате предварительного дренирования обрабатываемого участка, завершающей откачки воды, появления грунтовых вод после дождя.
- Подробные данные по геофизическим параметрам генерируются в реальном времени за счет очень быстрой проводной телеметрии и мощного ПО.
- Устройство каротажа на основе МР компактно, однако имеет внушительные характеристики сигнал/шум (SNR), что дает глубину анализа.
- Характеристики SNR, быстрое получение и обработка данных задают вариативность в геофизических параметрах, при этом карта водоносного горизонта строится на основе каротажных данных, полученных со скоростью 1 м/мин. (~200фут/ч).

Точность и качество данных

Поиск и исследование железорудных месторождений, как правило, предполагает бурение скважин небольшого диаметра. Такой подход вызвал необходимость разработки устройства каротажа на основе МР, который бы соответствовал размеру ствола скважины. Устройство стало компактным, при этом возникла потребность в современных технологиях измерения на основе возбуждения и релаксации ЯМР-сигнала. Инновационные практические исследования, новая конструкция и нестандартный подход помогли найти решение. В результате таких фундаментальных достижений технология МР позволяет получить высококачественные данные с валидными показателями по высокой плотности, по многим геофизическим параметрам по характеристикам пор с всесторонним анализом распределения содержания влаги. Более того, благодаря простоте использования и минимальным требованиям к оборудованию и компетенциям персонала каротаж на основе МР также дает самое лучшее качество, что проиллюстрировано в сравнительной таблице ниже.

	Каротаж на основе BMR	Стандартный каротаж	Испытания образца руды
Полевые замеры	✓	✓	✗
Точность замеров	✓✓	✓	✓✓✓
Общая влажность	✓	✓	✓
Удельный дебит	✓	✗	✗
Удельное водоудержание	✓	✗	✓
Плотность сухого вещества ²	✓	✗	✓
Данные в реальном времени	✓	✓	✗
Непрерывный профиль по глубине	✓	✓	✗
Операции без крана	✓	✗	✓
Скорость испытаний	✓✓✓	✓✓	✓
Эффективность испытаний	✓✓✓	✓✓	✓
Себестоимость испытаний	\$\$	\$\$\$	\$
Рейтинг рентабельности	1	3	2

ПРИМЕЧАНИЯ

1. ✓ = самый худший, ✓✓✓ = самый лучший
2. В сочетании с показателями насыпной плотности из стандартного каротажа
3. \$ = мин. затрат, \$\$\$ = макс. затрат