

Специальность 6В07201 – «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»
Дисциплина «Радиоактивные методы исследования»

Лекция

Физические основы метода меченых атомов

Лектор: Пак Ю.Н.
д.т.н., проф. каф. ГРМПИ



План лекции:

1. Общие сведения.
2. Методика исследований
3. Сферы применения способа

Общие сведения

Сущность метода меченых атомов заключается в введении в скважину жидкости, содержащей радиоактивный гамма-излучатель с последующим измерением искусственной гамма-активности пород.

Метод меченых атомов, нашедший применение в нефтепромысловой геологии и гидрогеологии, получил название «метод изотопов» и «метод радиоактивных индикаторов».

В круг основных задач, решаемых данным методом при исследовании скважин, входят изучение геологического разреза с целью выделения коллекторов и проницаемых зон, контроль технического состояния скважин (определение высоты подъема цемента, определение мест повреждения в обсадной колонне и зон циркуляции жидкости), контроль гидравлического разрыва пласта, изучение гидродинамики подземных вод.

Метод меченых атомов был предложен в 1939 г. В.Н. Дахновым, К.П. Козиным, А.А. Коржевым и др. для исследования скважин.

В зависимости от решаемой задачи и способа введения активированной жидкости различают две разновидности метода меченых атомов: способ разовой закачки активированной жидкости и способ бурения скважины на активированном буровом растворе.

Во второй разновидности создаются благоприятные условия для проникновения активированного раствора в пласт, так как при этом отсутствует глинистая корка, препятствующая проникновению раствора в способе разовой закачки.

Бурение на активированном радиоактивном растворе предполагает принятие строгих мер по охране труда и технике безопасности при работе с радиоактивными веществами и охране окружающей среды.

Основные требования к радиоактивным изотопам, используемым в методе меченых атомов:

- радиоизотоп должен испускать гамма-излучение с энергией, достаточной для прохождения через корпус скважинного прибора и обсадную колонну;
- период полураспада должен быть относительно небольшим для восстановления естественного гамма-поля в скважине;
- радиоизотоп должен хорошо растворяться в воде.

Рекомендуемая концентрация радиоактивных изотопов при работе в скважинах

Изотоп	Период полураспада	Концентрация радиоактивных изотопов для работ в скважинах, мКи/м ³	
		необсаженных	обсаженных
Na ²⁴	15ч	0,05	0,08
J ¹³¹	8 сут	1,0	3,4
Fe ⁵⁹	47 сут	0,2	0,3
Zn ⁶⁵	250 сут	0,5	0,6
Zr ⁹⁵	65 сут	3,0	4,0
Mn ⁵⁶	2,6 ч	0,15	0,3

Методика исследований

Методика исследований согласно способу меченых атомов заключается в следующем.

Вначале проведением гамма-каротажа изучают естественную радиоактивность горных пород, затем в скважину вводят активированные растворы или вещества, после чего перед измерениями обычно скважину тщательно промывают с целью удаления остатков жидкости, загрязненной радиоизотопом.

В дальнейшем непосредственные исследования заключаются в проведении повторного гамма-каротажа.

Помимо выше обозначенных требований радиоизотоп, закачиваемый в скважину должен обладать повышенной способностью адсорбироваться породами.

Из указанных изотопов наилучшей адсорбирующей способностью обладает цирконий-95, наихудшей – йод-131.

Данные изотопы в методе меченых атомов используются в основном в виде растворов солей с удельной радиоактивностью, превышающей 10-20 кратный естественный гамма-фон горных пород. Ввод радиоактивного раствора в скважину целесообразно осуществлять с помощью инжектора – глубинного прибора, позволяющего на заданной глубине инжектировать определенную порцию активированной жидкости.

Возможность изучения коллекторских свойств пластов основана на том, что благодаря избыточному давлению, создаваемому в скважине, активированный раствор поступает в проницаемые пласты.

Чем больше пористость и проницаемость пластов, тем сильнее в них будет поступать радиоактивная жидкость. На кривых повторного гамма-каротажа пористые пласты при прочих равных условиях будут отмечаться повышенными аномалиями.

В основе использования метода меченых атомов для расчленения коллекторов по водонефтенасыщенности положено различие фазовой проницаемости водо- и нефтенасыщенных частей пласта по отношению к активированной жидкости.

Если в скважину закачивается активированный буровой раствор, то он в большей степени проникает в водоносную часть пласта, чем в нефтеносную.

Если же закачивается активированная нефть, то она легче проникает в нефтеносную часть. Соответственно этому повышенная интенсивность гамма-каротажа будет наблюдаться против водоносной или нефтеносной частей коллектора.

Для повышения эффективности расчленения пластов по водонефтенасыщению в активированную жидкость добавляют некоторые химические реагенты, обладающие избирательной способностью к повышению или понижению фазовой проницаемости пластов. Таким реагентом является мылонафт, содержащий большое количество натриевых солей.

В процессе обменной реакции этих солей с катионами кальция и магния, содержащихся в пластовых водах, образуется хлопьевидный осадок, закупоривающий поры водоносного пласта. При этом активированный раствор будет преимущественно проникать в нефтеносную часть пласта.

Для выявления пористых коллекторов используют свойство радиоактивных изотопов адсорбироваться на глинистом материале.

В процессе бурения скважины на активированном буровом растворе радионуклид адсорбируется глинистыми частицами раствора и оседает на стенках скважины. Чем больше пористость пород, тем больше толщина глинистой корки. По величине интенсивности регистрируемого γ -излучения при повторном ГК можно оценивать пористость.

Методу меченых атомов свойственна высокая геологическая эффективность изучения разрезов, в частности карбонатных коллекторов низкой пористости, когда другие геофизические методы не дают однозначного ответа о наличии коллекторов.

Широкое внедрение метода радиоактивных индикаторов сдерживается потенциальной опасностью обращения с радиоактивными изотопами и необходимостью выполнения Санитарных правил работы с источниками ионизирующих излучений.

В некоторых случаях в качестве индикаторов меченой жидкости используют не радиоактивные изотопы, а элементы с аномальными ядерными свойствами, например, аномальные поглотители тепловых нейтронов (бор, кадмий).

Методика измерений будет заключаться не в регистрации искусственно созданной гамма-активности, а в измерении плотности тепловых нейтронов (ННМ-т) или интенсивность мгновенного гамма-излучения, сопровождающего радиационный захват тепловых нейтронов.

При использовании в качестве индикатора кадмия целесообразно регистрировать кривые НГК и ННК-т. Высокопористые и проницаемые пласты будут отмечаться повышенными показаниями НГК и аномально низкими показаниями ННК-т.

Основным требованием к соединениям элементов с аномальными свойствами является достаточно хорошая растворимость.

Из борсодержащих соединений этим условиям отвечает:

- борная кислота H_3BO_3 (растворимость 4,9г/100г),
- из кадмийсодержащих – хлористый кадмий $CdCl_2$ (растворимость 114г/100г).

Частным случаем рассматриваемого метода меченых атомов можно считать использование мощных скважинных генераторов нейтронов для нейтронной активации индикаторных элементов, например, кислорода с последующим измерением γ -излучения, сопровождающего распад искусственно созданных радионуклидов.

Такие подходы имеют перспективу в нефтяной геофизике в связи с развитием нейтронной техники и гамма-спектрометрической аппаратуры.

При контроле за техническим состоянием скважин важно знать толщину цементного кольца.

Суть контроля цементажа скважин методом меченых атомов сводится к добавлению к цементному раствору определенного количества радиоактивного изотопа.

При контроле за толщиной цементного кольца индикаторный радиоизотоп равномерно распределяется по всему объему цементного раствора.

Для оценки высоты подъема цемента достаточно меченый изотоп разместить в первой порции цемента.

Выявление герметичности колонны и цементного кольца может быть осуществлено путем закачки в скважину воды с раствором радионуклида.

Нарушение колонны выявится на результатах повторного гамма-каротажа значительным повышением измеряемой интенсивности по сравнению с кривой ГК.

Способ меченых атомов может применяться для контроля гидравлического разрыва пласта, который позволяет повысить нефтеотдачу продуктивных пластов.

Метод основан на расслаивании (разрыве) пласта под действием закачиваемой в скважину под большим давлением вязкой жидкости, содержащей крупнозернистый песок (0,5-0,8 мм) для сохранения трещин после прекращения давления в скважине.

Для контроля разрыва пласта в скважине к песку подмешивают радионуклид. По кривой повторного гамма-каротажа судят о гидроразрыве пласта. Для закачивания радиоактивного песка в скважину разработано специальное оборудование

В качестве индикаторного элемента применен изотоп железо-59, который легко адсорбируется на поверхности песчинок. Песок предварительно смачивают радиоактивным раствором хлорного железа, который прокаливается до температуры 200-300°C, в результате на песчинках образуется несмываемая пленка гидроокиси железа – ржавчина ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$).

Удельная активность песка 2-3 мкюри/кг. Для изучения скважины достаточно 1-2 кг радиоактивного песка, равномерно распределенного по всей порции песка весом 200-250 кг.

Обозначенные сферы применения способа меченых атомов предусматривают проведение работ с индикаторными веществами в следующей последовательности:

- исследование разреза скважины стандартным геофизическим методом (гамма-каротаж для измерения фонового гамма-излучения);
- закачка меченой индикаторной жидкости в скважину;
- промывка ствола скважины для удаления остатков индикаторного вещества;
- повторные замеры геофизическим методом (повторный гамма-каротаж);
- сопоставление результатов и выявление существенных изменений.

В процессе решения ряда задач нефтепромысловой геологии и гидрогеологии актуальным является исследование направления и скорости движения водных потоков.

Для этого в одну из скважин закачивают радиоактивный изотоп в виде соли, растворимой в воде. В других соседних скважинах измеряют гамма-активность по времени, отслеживая движение меченой воды по изучаемым пластам.

Время, прошедшее с момента закачки меченой жидкости в нагнетательной скважине до момента ее появления в исследуемых скважинах (фиксируется повышением гамма-активности) и место выхода активированной жидкости в наблюдательных скважинах характеризуют скорость и направление движения пластовых вод.

Эффективность таких исследований во многом зависит от правильного выбора вводимого индикаторного радиоизотопа.

Ранее при решении задач по изучению коллекторских свойств пластов и контролю технического состояния скважин было рекомендовано использовать короткоживущие изотопы, обладающие высокой адсорбционной способностью.

В данном случае при определении динамики подземных вод предпочтение отдается радионуклидам с большим периодом полураспада и обладающих меньшей способностью сорбироваться при движении через горные породы.

Этим требованиям частично соответствует йод-131. Однако небольшой период полураспада ограничивает применение J^{131} тремя-четырьмя неделями.

Известен метод, основанный на использовании изотопа трития. Преимуществом этого радионуклида является минимальная адсорбционная способность активированной тритием жидкости.

К недостаткам относится трудность детектирования бета-излучения, приводящая к усложнению методики исследования.

Контрольные вопросы

1. Суть метода меченых атомов для выявления коллекторских свойств пластов.
2. Основные требования к радиоактивным изотопам, применяемым в методе меченых атомов для оценки водо-нефтенасыщенности пластов.
3. Обоснуйте последовательность действий при практическом применении метода меченых атомов для контроля технического состояния скважин.
4. Физическая сущность модификации метода меченых атомов, в котором не используются радиоактивные изотопы.
5. Каким образом оценивается гидравлический разрыв пласта?
6. На чем основана возможность контроля толщины цементного кольца с использованием радиоактивного изотопа?
7. Механизм определения скорости и направления движения пластовых вод с использованием меченых атомов.
8. Укажите требования к радиоизотопам для определения динамики подземных вод.

Вопросы для самостоятельного изучения

1. Почему в методе меченых атомов предпочтение отдается гамма-излучателям, а не бэта-излучателям?
2. Роль нагнетательной и наблюдательных скважин при изучении гидродинамики подземных вод.

Список литературы

1. Арцыбашев В.А. Ядерно-геофизическая разведка. – М.: Атомиздат, 1980, 321 с.
2. Якубович А.Л., Зайцев Е.И., Пржиялговский С.М. Ядерно-физические методы анализа минерального сырья. – М.: Атомиздат, 1982.
3. Мейер В.А., Ваганов П.А., Пшеничный Г.А. Методы ядерной геофизики. – Л.: Изд-во ЛГУ. 1988. – 376 с.
4. Старчик Л.П., Пак Ю.Н. Ядерно-физические методы контроля качества твердого топлива. – М.: Недра, 1985. – 224 с.
5. Ларионов В.В. Радиометрия скважин. – М.: Недра, 1969. – 327 с.
6. Резванов Р. Радиоактивные и другие неэлектрические методы исследования скважин. – М.: Недра, 1982.
7. Филиппов Е.М. Ядерная геофизика. Т.2. – Новосибирск: Изд-во Наука. Сибирское отд., 1973. – 400 с.
8. Ю.Н. Пак. Ядерные технологии в геофизических исследованиях. Изд-во КарГТУ, 346с. Учебник, 2016.
9. Пак Д.Ю., Пак Ю.Н. Лабораторный практикум по ядерно-радиометрическим методам в геолого-геофизических исследованиях, Издательство КарГТУ, 106с, Учебное пособие, 2018.
10. Пак Д.Ю. Лабораторный практикум по ядерно-радиометрическим методам в геолого-геофизических исследованиях (часть 2), Издательство КарГТУ, 103с, Учебное пособие, 2019.
11. Пак Ю.Н., Пак Д.Ю. Монография. Методы и приборы ядерно-физического анализа углей. Изд-во КарГТУ, Караганда, 2012.
12. Пак Ю.Н. Пак Д.Ю. Геологиялық-геофизикалық зерттеулердегі ядролық-радиометриялық әдістер бойынша зертханалық практикум. Издательство КарГТУ, 107с, Учебное пособие, 2020.

На этом лекция завершена.
Спасибо за внимание!