

الباب الرابع

القياسات الكهرومغناطيسية Electromagnetic Logs

الفصل الأول

مفاهيم عامة وقياس الانشار الكهرومغناطيسي وتفسيراته

٤-١-٤ مفاهيم عامة :

يتم تعين التشيع بالماء في الصخور الحازنة بالإستناد إلى قياسات المقاومة الكهربائية للطبقات . وحيث إن أغلب المياه الطبقية مالحة عموماً ، فإن قياسات المقاومة ذات فعالية كبيرة في التمييز بين الطبقات الحديدو كربونية وتلك المالحة . ومن الطبيعي ليست كل المياه الطبقية مالحة ولا أيضاً جميع الطبقات مشبعة بمياه ذات ملوحة ثابتة ، وإنما أن المياه الطبقية تصبح أقل ملوحة ، فإن مقاومتها سوف تزداد ، والحقيقة أن الماء الذي يحوي على أملاح غير منحلية يبدى مقاومة عالية جداً ، مشابهة لتلك التي تكون للنفط أو الغاز . ومن الواضح عندما تصبح المياه الطبقية أقل ملوحة فإن قياسات المقاومة التقليدية والموجة وأيضاً التحريرية تفقد مقدرتها في التمييز بين الطبقات الحديدو كربونية والمائية بدرجة كبيرة .

ولهذا فإن الحاجة لطريقة أخرى تعتمد بصورة أقل على ملوحة على المياه من أجل تعين التشيع بالماء ، أصبحت ضرورية ، وهذا ما تقدمه طريق قياس سماحية العزل الكهربائي التي تملك الخيار الوحيد .

وبين الجدول (٤-١) القيم المخبرية لسماحية العزل الكهربائي / ٨ / . (بالنسبة للهواء) لبعض المواد النوعية الحازنة ، وباستثناء الماء ، فإن أغلبية المواد المكونة للصخور الرسوية تتصف بقيم منخفضة (أقل من ٨) ، وهذا يعني أن سماحية العزل الكهربائي المقاسة، تتغير تابعة للمسامية المحتلة بالماء .

تأثير سماحية العزل الكهربائي للماء لدرجة متوسطة أو كبيرة بالملوحة وبدرجة

الحرارة ، ومع هذا فإن هذا التأثير أقل بكثير من معدله للمقاومة .

| الفلزات | زمن الانتشار L_p (ns/m) | ثوابت العزل الكهربائي | الفلزات | زمن الانتشار L_p (ns/m) | ثوابت العزل الكهربائي | الفلزات |
|-----------------|------------------------------|--------------------------|--------------|------------------------------|--------------------------|---------|
| المعلمات الجافة | 8 | 5,76 | الحجر الرملي | 7,2 | 4,65 | |
| غضاريبات | 16,6-7,45 | 25,5 | دولوميت | 8,7 | 6,8 | |
| نقط | 5,2-4,7 | 2,4-2 | الحجر الكلسي | 10,2-9,1 | 9,2-7,5 | |
| غاز | 3,3 | 1 | الانهدريت | 8,4 | 6,35 | |
| ماء | 30-25 | 80-56 | هاليت | 8,4-7,9 | 5,6-6,35 | |
| ماء عذب | 29,5 | 78,3 | الجبس | 6,8 | 4,16 | |

جدول ١-٤ : ثوابت العزل الكهربائي النسبية وأزمان الانتشار للموجة الكهرمغناطيسية لبعض الفلزات والسوائل .

ويمكن وصف الانتشار الكهرمغناطيسي بمعادلات مكسويل :

$$\gamma = \alpha + j\beta$$

١-٤

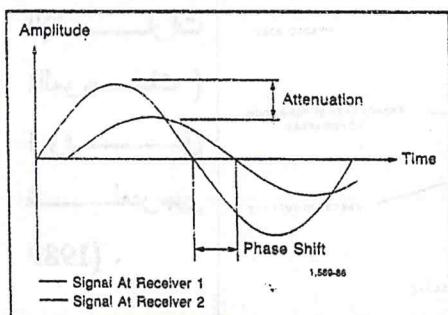
$$\omega^2 \mu \epsilon = \beta^2 - \alpha^2$$

٤-١-٤

$$\omega \mu c = 2\alpha \beta$$

٤-١-٥

حيث إن : μ - التشار الموجة الكهرمغناطيسية ، α - تفامد الموجة ، β - الازاحة الطورية ، ω - السرعة الزاوية ، $\mu \epsilon$ - النفوذية المغناطيسية ، ϵ - ثابت العزل الكهربائي ، c - الناقلة .



ويسمح قياس α و β بتوفير معلومات عن ثابت العزل الكهربائي وناقلة الطبية التي تنشر فيها الأمواج الكهرمغناطيسية شكل (١-٤) .

شكل ١-٤ : اشارات الانتشار

الكهربامي .

٢-١-٤ قياس الانتشار الكهرومغناطيسي

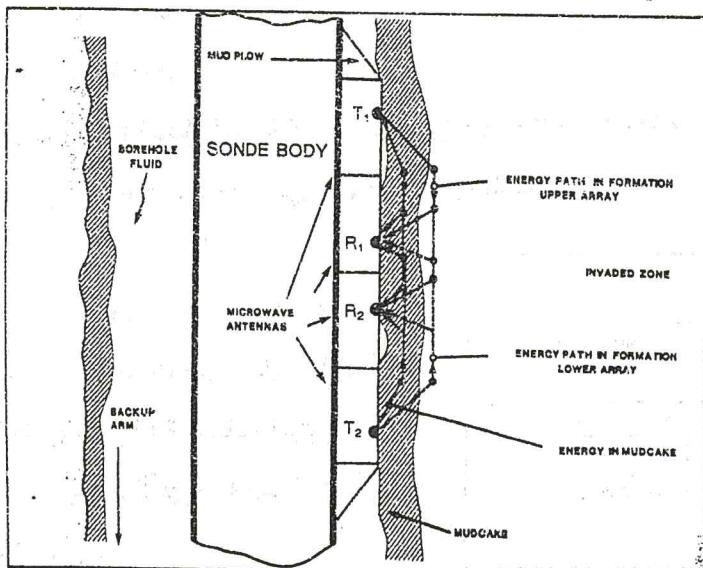
: The Electromagnetic Propagation Log

يتوفر لدى شركة شلمير جير نوعان من سوابير الانتشار الكهرومغناطيسي EPT و DPT . تعمل السايرة EPT كجهاز سير ضحل يستخدم تردد (1,1 GHZ) . أما السايرة DPT فهي جهاز سير أكثر عمقاً ويعمل بتردد حوالي (25 MHZ) .

١-٢-١-٤ السايرة EPT (Electromagnetic Propagation Tool)

وهي سايرة من النوع الوسادي ، تقيس زمن العبور ومعدل تhammad الموجة المكروية المنتشرة داخل حفرة البتر وذلك في المستويات القليلة الأولى من الطبقه . تكون السايرة من وسادة إستشعار مثبتة بصورة حيدة بجسم السايرة ومدفوعة نحو جدار حفرة البتر بواسطة ذراع استناد خلفي ، يمكن استخدامه لقياس قطر حفرة البتر . يلحق بالسايرة جهاز لقياس المقاومه الدقيقه (ميكرولوغ) ، حيث تكون الاستجابة العمودية لجهاز الميكرولوغ مشابهة لتلك التي يتصف بها جهاز كهرمغناطيسي .

شكل ٢-٤ : جهاز الوسادي EPT
وشكل توزع وسائل الإشارات (الموجات) فوق لمبر جير . (1989)



يركب زوج من المرسلات (T_1 و T_2) وزوج من المستقبلات (R_1 و R_2) للموجة الميكروية على وسادة الاستشعار وذلك من أجل التقليل لحد كبير من تأثير عدم انتظامية حفرة البتر وميل السايرة شكل (٢-٤) .

تكون المسافة بين المرسل وأقرب مستقبل هي 8cm وبين المستقبلين 4cm . ترسل موجات كهرومغناطيسية متتابعة (متلاحقة) من كلا المرسلين ، وعند كل مستقبل يتم قياس سعة وانزياح طور قطار الموجة شكل (٤-٢) .

يعين زمن الانتشار للموجة $t_{PL} = \beta / \omega$ (t_{PL}) والتحامد الموجي (A) خلال المسافة (التباعد) بين المستقبلات من القياسات المستقلة . وفي كل مرة ، يتم أخذ متوسط القياسات الآتية من المستقبلات وذلك بمعدل 60 مرة كل ثانية ، تجمع هذه القياسات المستقلة ويوند المتوسط بالنسبة الحال طوله إما 0,4 ، 1,2 ، 6 بوصات من الطبيعة قبل التسجيل على فيلم أو شريط مغناطيسي .

يوجد جهازان حالياً موضوعان في الاستخدام جهاز EPT-D و جهاز ADEPT ، يستخدمان تشكيلات متعددة للمرسلات والمستقبلات وذلك من أجل تحقيق عمق سير أكبر أو معدل ملوحة كبير .

يزود رأس القياسات المسجلة حسب نوع الجهاز بالرموز التالية من أجل توضيح المعيار المقاس

| ADEPT | EPT-D | المعيار المقاس |
|-------|-------|---------------------|
| TPL | TPL | زمن الانتشار المقاس |
| EATT | EATT | قياس التحامد |
| TPPW | - | زمن الانتشار المصحح |
| EAPW | - | التحامد المصحح |

٤-١-٤-١ الاستجابة العمودية ، عمق الاختراق وتأثيرات حفرة البشر :

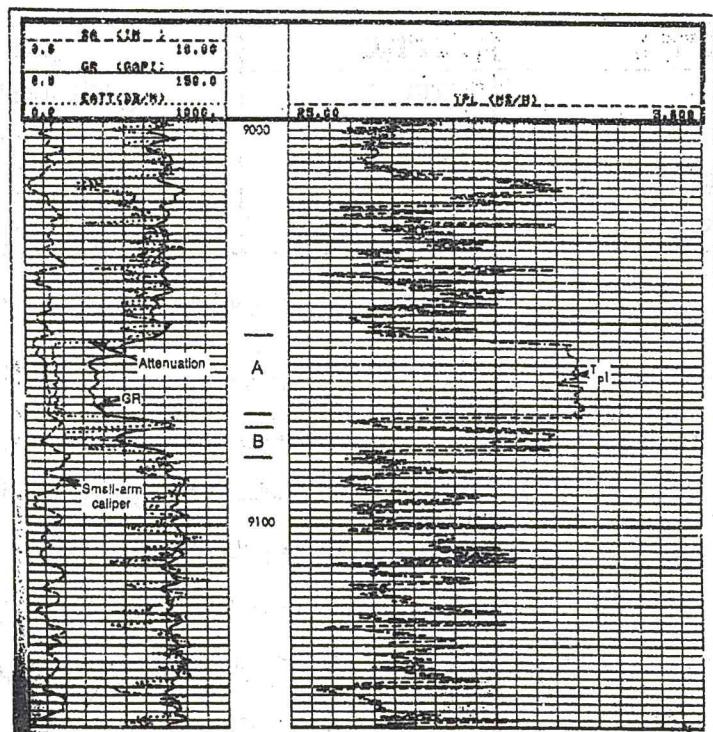
إن الاستجابة العمودية لقياس EPT جيدة للغاية ، وهي تحدد عملياً بالمسافة العمودية المقدرة بـ 2 بوصة . أما عمق التغلغل أو الانحراف فيتغير من 1 بوصة في الطبقات ذات المقاومة القليلة إلى حوالي 6 بوصات في الطبقات ذات المقاومة العالية . والحد الأقصى لمقاومة الطبقة المتعلقة بخصائص الجهاز وعمله يبلغ حوالي 0,3 أوم. متر . لا يؤثر حجم البشر على قياس EPT طالما أن الوسادة تكون على تماس جيد مع حدران حفرة البشر . ومع ذلك ، فإن كعكة الحفر السميكة أو مباعد التمرکز الكبير يمكن أن يسبب تأثيرات متغيرة على نتائج القياس . وبالنسبة لسمك كعكة أكبر من 3/8 بوصة فإن زمن الانتشار يزداد حتى أن القراءات تتعلق بكعكة الحفر عند سمكها 3/4 بوصة . ولا ينصح باستخدام EPT في حالة

سوائل الحفر ذات المقاومة القليلة جداً أو العالية غير العادلة وكذلك في حفر الآبار الفارغة أو المليئة بسوائل حفر ذات أساس نفطي . وبسبب أن الأمواج الميكروية لها سرعة عالية في الماء أو النفط ، فإن وجود طبقات رقيقة للغاية من هذه السوائل بين الرسادة والطبقة تعمل على تقصير الدارة لإشارة الطبقة .

٤-١-٢-١-٤ تمثيل لقياس EPT :

يتمثل الشكل (٤-٣) تسجيلاً لقياس EPT مع قياس GR . يتم تسجيل قياس أشعة غاما الطبيعية وقياس قطر البتر في حقل التسجيل الأول وكذلك يسجل منحني تخامد الموجة الكهرومغناطيسية الذي يقدر بالديسيبل/متر . وفي الحقل الثاني والثالث يسجل منحني زمن الانتشار ويقدر بنانو ثانية / متر . يوضح الشكل (٤-٣) منحني الانتشار والأشعاع الطبيعي والتخامد مقابل بمحال رملي -A- يفصله نطاق أو تداخل لطبقة غضارية عن المحال -B- الرملي . يتم قراءة قيم عالية لزمن الانتشار مقابل الطبقات أو التداخلات الغضارية (وسطياً

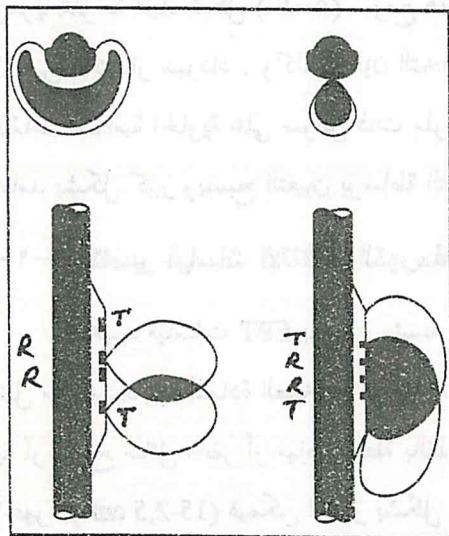
(22 ns/m)



شكل (٤-٣) : منحنيات زمن الانتشار وسعة التخامد لجهاز EPT (شمېر جېر) .

٤-١-٢-٢-٣-الساپرية (The Adeptable EPT Tool) ADEPT

لقد صمم جهاز EPT (المعدل) من أجل الحصول على قياس عالي



شكل ٤-٤ : - مقارنة بين تشكيلات Endfire و Broadside - توزيع الدارات المرسلة والمستقبلة .

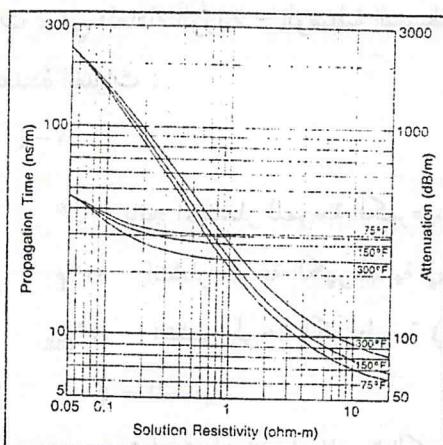
المحسودة في حالة سير الآبار ذات الجدران الوعرة (غير المتناظمة) وبوجود كعكة حفر سميكه . يمكن قياس التخادم وزمن الانتشار دقيق للغاية ذلك لأن استجابة الجهاز معروفة جداً وأن التصحيحات المتعلقة بالتخادم يمكن التنبؤ بها .

يرسم الشكل (٤-٤)

مقارنة توضيحية لنماذج السير ذات المرويات الاختيارية .

يستخدم تشكيل Endfire الاختياري لتحسين عمق السير وعلى الأخص انقص تأثير كعكة الحفر ومباعد التمر كمز بدون التأثير على الاستجابة العمودية . ويعتمد عمق السير على مقاومية الطبقة المسبرة وعلى مقاومية المنطقة المفسولة (أكبر من ١ أوم.متر) وأيضاً على مقاومية سائل الحفر (أكبر من ٠,٣ أوم.متر) .

يسمح استخدام جهاز ADEPT ذي التباعد القصير الاختياري بتشكيل broadside من زيادة معدل التأثير الفعلي مقابل



شكل ٥-٤ : تغيرات t_{pf} و A_f مقابل الملوحة ودرجة الحرارة .

الطبقات ذات المسامية العالمية أو المتصفة بوجود المياه المالحة .

و ضمن شروط استخدام سوائل الحفر العذبة العادمة فإن زمن الانتشار لا يتأثر جوهرياً بملوحة المياه شكل (٤-٥) . ومع هذا بالنسبة لمياه ذات مقاومة أقل من ٠,٣ أو متر فإن زمن الانتشار سيزداد . وكذلك فإن التخادم يزداد مع زيادة المسامية وملوحة المياه . وفي الطبقات المسامية الحرارية على سوائل ذات ملوحة عالية جداً ، فإن الأمواج الكهرومغناطيسية تتحادم بشكل كبير ويصبح التعين بوساطة التشكيلات التقليدية (EPT) صعباً .

٤-١-٤ تفسير قياسات الانتشار الكهرومغناطيسي (EPT) :

تجيب قياسات EPT بصورة رئيسية على محتوى الطبقات بالمياه ، وذلك بصورة أفضل من استحاجاتها للمادة الصخرية أو أي سائل آخر . وتوجد المياه إما بشكل مياه طبقية بيئية أو راسخ سائل الحفر أو مياه مرتبطة بالفلرات الفضائية . ونتيجة لعمق السور الضحل للأجهزة (٢,٥-٣,٥ m) فيمكن اعتبار بشكل اعتبرادي أن المنطقة المسولة تتأثر بالقياسات ، وأن المياه التي تدخل بالقياس هي بصورة رئيسية راسخ سائل الحفر .

لقد تم بيان خصائص انتشار الموجة الكهرومغناطيسية في المواد متعددة الفلرات ذات القيم المختلفة في إنتشار الأمواج ، وذات ثوابت العزل الكهربائي والناقلية الكهربائية المختلفة ، نظرياً وتحريرياً ، من قبل العديد من الباحثين . ومن أكثر العلاقات تداولاً والتي تنبثق من هذه الدراسات ، هي المعادلة الوزنية - الوسطية البسيطة المشابهة لتلك المستخدمة في تقويم كثافة المواد متعددة الفلرات :

$$v^* = \phi v_{ma}^* + (1-\phi)v^*_{w} \quad ٤-٤$$

حيث : v^* - ناتج الانتشار للموجة الكهرومغناطيسية في المادة متعددة الفلرات .

v^*_{ma} - انتشار الموجة الكهرومغناطيسية في السائل الذي يملئ المسامات .

v^*_{w} - انتشار الموجة الكهرومغناطيسية في المادة الصخرية .

ϕ - المسامية .

تشير وسعة نجمة بأن انتشار الموجة الكهرومغناطيسية هو معيار معقد يحوي معاً مركبة طور حقيقة داخلة ومركبة طور تخيلية خارجة (راجع مقرر الفيزياء) .

٤-١-٣-١ طرق تعين المسامية :

لقد تم تطوير ثلاث طرق لتعيين قيم المسامية اعتماداً على قيم زمن الانتشار للموجة الكهروميسية وهي:

أ - طريقة دليل الانعكاس المركب أو طريقة CRIM

(Complex Refractive Index Method)

تعتمد هذه الطريقة على تحويل معادلة المسامية (٤) إلى معادلة بدالة ساحبة الغزل الكهربائي ، ثم تنفيذ الحسابات التكرارية لمقابلة الفرضيات الأولية مع نتائج القياس ، وذلك من أجل الحصول على قيمة المسامية في المنطقة المسبورة .

ب - طريقة متوسط الزمن المركب أو طريقة CTA (Complex Time Average)

تستخدم هذه الطريقة عادة ضمن برامج التفسير بالحاسوب (Cyberlook ، Elan ، Global) . وفترض هذه الطريقة بأن النموذج البيوفيزيائي يمكن تكوينه باستخدام علاقة المتوسط الوزني المشابهة لتلك المستخدمة في تفسير قياسات كثافة التشکيلة . يمكن كتابة معادتين مستقلتين واحدة لزمن الانتشار والأخرى للتخامد :

$$t_{pl} = \phi S_{xo} t_{pw} + \phi(1 - S_{xo}) t_{ph} + (1 - \phi) t_{pma} \quad ٣-٤$$

$$A = \phi S_{xo} A_w \quad ٤-٤$$

والمسامية المعينة حسب المعادتين الآخرين تخص الفراغات المليئة بالماء . وكذلك ، افترض أن تخامد الإشارة في المادة الصخرية قليل جداً .

وتحدد مقارنة ϕ_{EPT} مع المسامية الفعلية للطبيعة ، يمكن الحصول على التشبع بالماء للمنطقة المسبورة والتي تكون على الأغلب المنطقة المغسولة :

$$S_{xo} = \frac{\phi_{EPT}}{\phi} \quad ٥-٤$$

ويمكن الحصول على حلول المعادلات (٣-٤) و (٤-٤) بشكل بياني (القسم العملي) .

ج - طريقة t_{po} Method - t_{po}

ويتم وفق هذه الطريقة معاجلة أو التعامل مع القيم المقاسة (زمن الانتشار ، Loss Less Formation) كما لو أنها قيست لطبيعة قليلة فقد - تخامد قليل جداً

ومن أجل ذلك يجب ربط زمن الانتشار المقاس به t بشرط قلة الفقد وذلك بتطبيق عامل تصحيح تابع لتعامد الأمواج الكهروميسية في وسط فاقد (المادة الصخرية) . إذا تم قياس زمن الانتشار t_{po} فإن زمن الانتشار في طبقة قليلة الفقد t_{pwo} يعطى بالعلاقة :

$$t_{pwo}^2 = t_{po}^2 - \frac{A_c^2}{3604} \quad 6-4$$

حيث أن : A_c التعامد المصحح بالنسبة لفقد الاتساع الكروي .
تعطى المسامية الممتلئة بالماء والمتسقة بالسايرة EPT بالعلاقة :

$$\Phi_{EPT} = t_{po} - t_{pma} / t_{pwo} - t_{pma} \quad 7-4$$

وقد اعتبر أن المادة الصخرية ذات وسط قليل الفقد ، أما زمن الانتشار للماء (غير ناقل) ذو الفقد القليل فيحصل عليه من العلاقة :

$$t_{pwo} = 20(710 - T / 3) / (444 + T / 3) \quad 8-4$$

حيث : T درجة الحرارة مقدرة بالفرنهايت .

وفي حالة وجود الهيدروكربونات فيمكن أن تأخذ العلاقة الشكل التالي :

$$t_{po} = \phi_1 S_{xo} t_{pwo} + \phi_2 (1 - S_{xo}) t_{pwi} + (1 - \phi_1) t_{pma} \quad 9-4$$

حيث إن : t_{po} زمن الانتشار للهيدروكربونات (أيضاً قليل الفقد) و ϕ المسامية الكلية .
فإن كانت أزمان الانتشار للهيدروكربونات والمادة الصخرية تقرباً واحدة فإن العلاقة (9-4) تؤدي إلى العلاقة (4-5) .

ويمكن إيجاد بيانياً حل العلاقة (7-4) والعلاقة (8-4) بالنسبة لطبقات نظيفة من الحجر الرملي والحجر الكلسي (راجع القسم العملي) . وبالنسبة لهذا النوع من الصخور فإن التعامد يعتبر مهملاً وبالتالي يكون t_{po} يساوي عملياً t_{pwo} المقصود من القياس . ويجب معرفة ليشولوجية الصخر وأيضاً درجة الحرارة بدقة (بمقدار 10°F) . وعندما يكون الصخر مكوناً من عدة فلزات فإن زمن الانتشار يساوي القيمة الجبرية لأزمان انتشار كل مادة صخرية مقرونة بحجمها الجزيئي ، أي في حالة وجود ثلاثة فلزات في صخر :

$$t_{pma} = t_{pma1} V_1 + t_{pma2} V_2 + t_{pma3} V_3$$

٤-٣-١-٤ تمييز النطاقات في المجالات الهيدروكربونية :

تسمح مقارنة قياس المسامية المعينة وفق قياس EPT مع المسامية الكلية المقاسة

بالقياس النيوتروني - كثافة و/أو

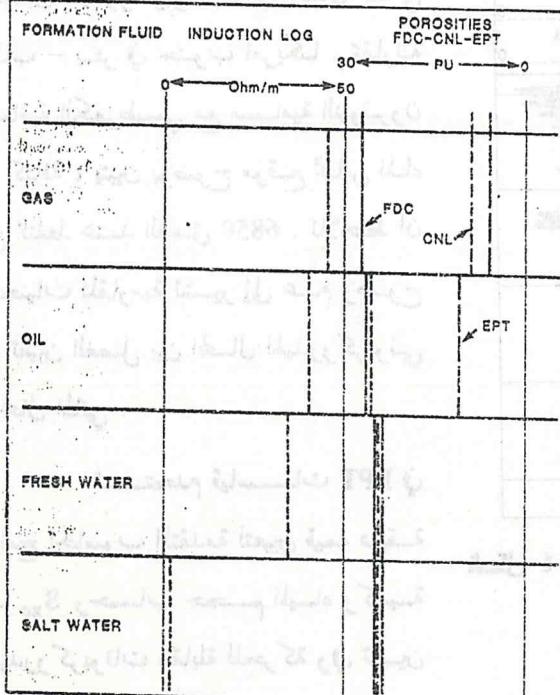
بالصوتي ، بتعيين التشبع بالماء في النطاق المفسولة . وعموماً تكون نفسها مثل المسامية الكلية EPT في النطاقات الحاملة للمياه ، ولكن في الحالات الحاملة للهيدروكربونات فإن مسامية سوف تكون أقل من المسامية الكلية . ومع ذلك فإن المسامية الكلية وفق القياس النيوتروني تكون قريبة جداً من المسامية المقاسة وفق القياس الكهرطيسي مقابل النطاقات الغازية . يوضح الشكل (٤-٦)

هذه الاختلافات . يبين الشكل (٤-٧) تسميات لعدة قياسات

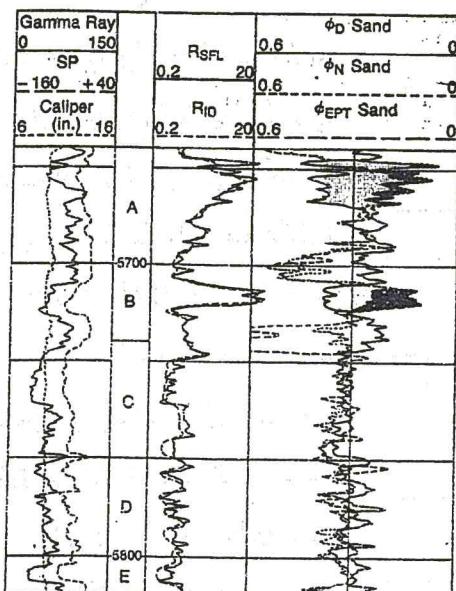
شكل ٤-٦ : دليل الهيدروكربونات - النظرة السريعة .

(ISF-EPT-CNL-FDC) من أجل تقييم الطبقات الخازنة . تبين المقارنة بين المنحنيات بأن الطبقة A حاملة للغاز كما هو واضح من قراءات المسامية النيوترونية حيث تكون أقل من مسامية الكثافة ، وأن مسامية الكهرطيسيّة قريبة من مسامية النيوترونية ، وأقل بكثير من مسامية الكثافة ، وهذا ما يؤكد وجود الهيدروكربونات الغازية .

أما مقابل النطاق B فإن الفصل الواضح بين قيم مسامية الكثافة والنيوترونية وبين مسامية الكهرطيسي تووضح أيضاً وجود الهيدروكربونات السائلة بكميات أكبر أو كوندنسات أكثر من النطاق A .



أما النطاق C فنقرأ مقابله قيم مسامية متشابهة وهذا ما يشير إلى نطاق حامل للمياه.



شكل ٧-٤ : تسجيلات القياسات المسامية والكهربائية مقابل طبقات خازنة (شلمبرجير).

يوضح الشكل (٤-٨) مثلاً

تعيين الهيدروكربونات في مجال مائي عذب - بعمق في جنوب أمريكا . مقارنة مسامية الكهرومغناطيسي مع مسامية النيوترون - كافية ، يتيح بوضوح موقع تماس الماء مع النفط عند العمق 6850 . نلاحظ أن منحنيات المقاومة تشير إلى عدم وضوح في تعيين الفصل بين المجال الهيدروكربيوني والجاف المائي .

تستخدم قياسات EPT في

برامج الحاسوب المتقدمة لتعيين قيمة دقيقة ل S_{ro} وحساب حجم الماء وكمية الهيدروكربونات القابلة للحركة وفي تعيين التركيب البئرولوجي وتحديد الغضار ودراسة الطبقات الرقمية والمتقطعة (القسم العملي) .

٤-١-٤ سايرة الانتشار العميق وتفسير القياسات

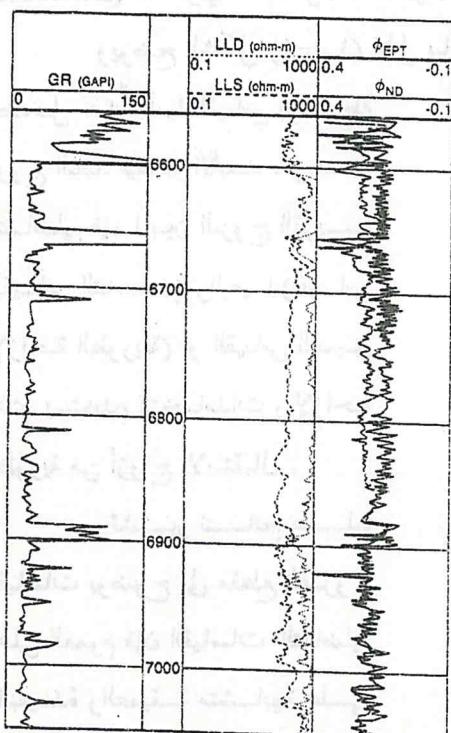
:Deep Propagation Tool-DPT

إن سايرة DPT عبارة عن جهاز سير عميق ، يمكن أن يتم استخدامه مع سايرة الانتشار الكهرومغناطيسي ذات السير الضحل EPT . وتماماً مثل سايرة EPT ، يتم إرسال موجة كهرومغناطيسيّة من هوائي الإرسال ، يتم بعدها قياس الإشارة وطورها النسيجي بوساطة المستقبلات الموجودة عند مسافة محورية معينة . تحول هذه القياسات إلى قيم التخامدات والازاحات الطورية . (بالنسبة لجهاز EPT يكون زمن الانتشار حقيقياً وأيضاً قياس الازاحة الطورية) .

وتحتاج قيم التخامدات المحسوبة والازاحة الطورية لتعيين ثابت العزل الكهربائي ومقاييس التشكيلة .

فإذا ما تم قياس هذه

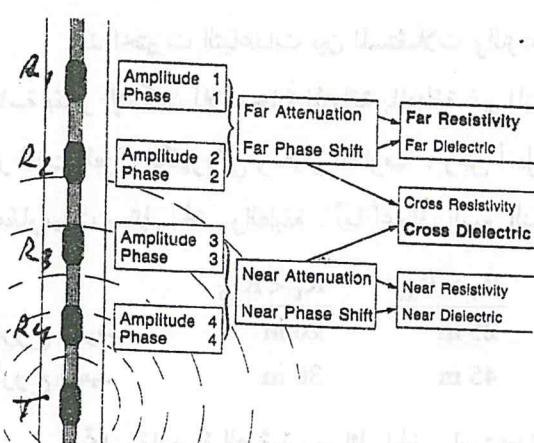
القيم بوساطة السايرة DPT ، فإن المعاير السابقة سوف تكون عموماً مماثلة للطبيعة غير المتأثرة براشح سائل الحفر (الحقيقة) .



شكل ٨-٤ : تعيين الهيدروكربونات في حالة

طبقة تحوي مياه عذبة .

تعمل السايرة DPT بتردد (25MHZ) وهو وسطي بين ترددات طاقة السواير التحريرية النطامية (2KHZ) والسايرة (EPT) (1,1 GHZ). يحوي الجهاز على دارة إرسال (هادئ) تبث طاقة كهرومغناطيسية في الجوar من حفرة البتر وأربع دارات مستقبلة (هواتف) تتوضع عند مسافات معينة ثابتة فوق دارة الارسال الشكل (٩-٤) .



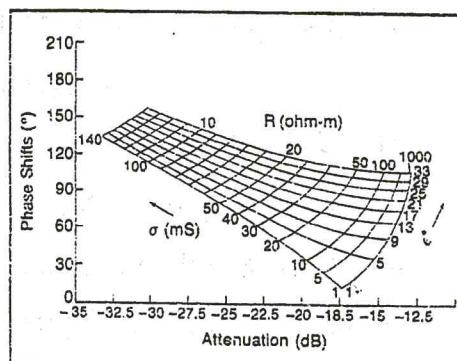
شكل ٩-٤ : سايرة الانتشار العميقه (DPT) .

تحمّل المستقبلات على شكل أزواج (زوج بعيد وزوج قريب) . يتم تسجيل الإزاحات الطورية وتخامدات الإشارة فيما بين كل زوج من المستقبلات وأيضاً فيما بين الزوجين (كما هو مبين في الشكل (٩-٤) .

الطورية والتحامدات من خلال المعادلات (٤-١) حيث يحسب ثابت العزل الكهربائي (Dielectric) للطبقة وأيضاً المقاومة الطايرية للطبقة .

ويوضح الشكل (٤-١٠) الحل بيانياً . ويعتبر القياس بوساطة الزوج القريب هو

الضلول جداً، أما القياس بوساطة الزوج بعيد فيعتبر الأبعد ، وبعدها التفاضلي فيما بين الزوج القريب (القياس التحتمد) والبعيد (القياس الإزاحة الطورية) أو القياس العميق الذي يستخدم التحتمدات والإزاحة الطورية من أزواج الاستقبال .



شكل ٤-١٠ : لوحة تعين الإزاحة الطورية / التحتمدات إلى قيم ثابت العزل الكهربائي والمقلومية .

وتشير نتائج هذه القياسات بوضوح إلى مقطع الغزو . وعلى العموم فإن القياسات الفاضلية والبعيدة والعديمة متشابهة على الأغلب . ومقارنة هذه القياسات الثلاثة ، يمكن عمل ضبط نوعي للقياسات .

٤-٤-١ تأثير الأوساط المجاورة : Environmental Effects

لقد اخترى التبعادات بين المستقبلات والتزدد المعروف به في سابر DPT ، لتكون حساسة بقدر الإمكان للإسجابة المتعلقة بالمنطقة غير المباشرة من الطبقة ، وذلك فيما يتعلق بعيار ثابت العزل الكهربائي ومعيار المقاومة ، ومن أجل إمكانية الاستخدام ضمن مجال واسع من مقاوميات سائل الحفر والطبقة . أما أعمق السير النموذجية فهي على النحو التالي :

| $R_t > R_{x0}$ | $R_t < R_{x0}$ |
|----------------|----------------|
| 25 in | 20 in |
| 45 in | 30 in |

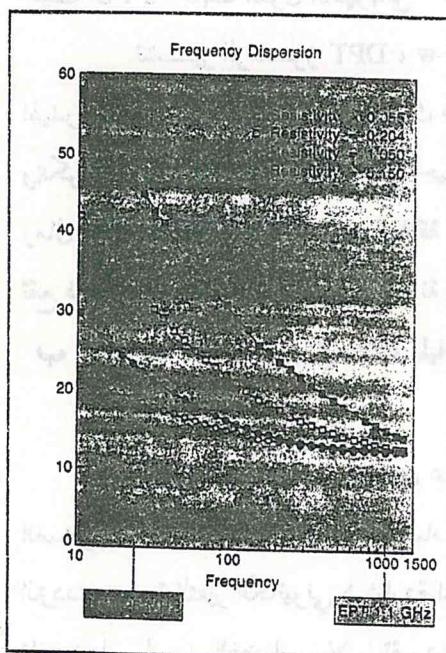
الزوج القريب
الزوج البعيد

وتحدد مقاومة الطبقة وسائل الحفر استخدام السابر . ففي حالة مقاومة أقل لـ الخفاضن لـ سائل الحفر (أقل من 0.1 أرم.متر) أو للطبقة (أقل من 3 أرم.متر) ، نجد أن

ساعات الإشارة المستقبلة تكون ضعيفة بشكل واضح . ومع ذلك في حالة غزو محدود ، يمكن الحصول على قيم ثابت العزل الكهربائي بشكل مقبول في حالة $R_m \approx 0.1\Omega m$ و $R_s \approx 3\Omega m$ ، عندما يتم استخدام المستقبلات الترددية . تكون دقة قياس المقاومة في هذه الحالة متساوية لحوالي 1 أوم.متر . أما بالنسبة لتأثير سماعة الطبقات ، فنحصل على نتائج نوعية عند سير طبقات بسماعة 4 قدم ، ولكن في حالة التفسير الكمي ، فإن سماعة الطبقة المسورة يتطلب أن تكون محدودة 8 قدم .

٤-١-٤-٤ طرائق تفسير قياسات الساورة DPT :

تعتمد قيم ثابت العزل الكهربائي في الحقيقة ، على قيمة التردد ، ونفس الشيء يطبق



شكل ١١-٤ : القياسات المخبرية لسماعة العزل الكهربائي عند ترددات مختلفة وملوحة طبقية متعددة .

على الناقلة . وعند تناقص التردد يزداد قيمة ثابت العزل الكهربائي وبالعكس تناقص الناقلة مع تناقص التردد شكل (١١-٤) . تستعمل عبارة "التبعد" Dispersion للوصف هذه التغيرات التي تسببها قيم الترددات المختلفة على قيم ثابت العزل الكهربائي والناقلة . ويوضح الشكل أيضاً ظاهرة التبعد الترددي كتابع للملوحة (مثال : في صخر مشبع بالماء يزداد التبعد تبعاً لنقصان مقاومة المياه الطبقية) . ومن أجل ذلك ، يتطلب تفسير قياسات ثابت العزل الكهربائي بسايرة DPT طريقة مناسبة بالنسبة للتغيرات في التبعد . تتضمن تقنية تفسير DPT بجموعتين : المجموعة الأولى تعترف التبعد ثابت نسبياً ، والثانية تكيف أو توقف بين هذه التغيرات .

توجد عدة طرق لتقدير قياسات DPT ، يمكن إيضاح أهم مبادئها على النحو التالي :

أ - طريقة تعديل t_{po} Modified Method :

تطبق طريقة تعديل t_{po} لتقدير قياس DPT في شروط الملوحة الثابتة أو المياه العذبة. وتستخدم هذه الطريقة فقط قيم ثابت العزل الكهربائي المقاس بالسارة DPT من أجل التشبع بالماء . وال العلاقة المستخدمة هي على الشكل التالي :

$$\sqrt{\epsilon_{DPT}} = \phi S_w \sqrt{\epsilon_w^p} + \phi(1-S_w) \sqrt{\epsilon_h} + (1-\phi) \sqrt{\epsilon_{ma}} \quad 10-4$$

حيث أن : ϵ - ثابت العزل الكهربائي ، p ، أس أو قوة الاستقطاب .
تشير الرموز DPT ، w ، h ، ma إلى قياس DPT ، المياه الطبقية ، الميلدرو كربونات والمادة الصخرية وذلك على التوالي . تقدر قيمة الأس p تبعاً لملوحة الماء ، ويعين أن يتم ذلك عادة بشكل بياني حيث يتم رسم قيم ϵ_{DPT} مع المسامية وذلك في حالة رمال نطبقة حاملة للماء . تصلح العلاقة السابقة حين استخدامها فقط بالنسبة للمجال التي تقع فيه أغلب مساميات الصخور الحازنة النمزوجة (0-40%) .

ب - طريقة تعديل t_{po} في حالة المياه المزدوجة

: Dual Water t_{po} Modified Method

تكون ظاهرة التبدد التردد على الأغلب أكبر في الفضاريات منها في الرمال أو الصخور الكربوناتية . وقد بعثت القياسات المخبرية على العينات الإسطوانية العلاقة بين التبدد التردد وسعة التغير الكاتيوني (شاردة الموجة) . ويظهر من المعطيات المسجلة أن التبدد تابع خطى لحجم الفضار V_{fb} . تقود هذه الملاحظات لتطوير طريقة تعديل t_{po} للمياه المزدوجة عند تفسير قياس DPT . وتعطى العلاقة على الشكل التالي :

$$\sqrt{\epsilon_{DPT}} = \phi_i [(S_{wt} - S_{wb}) \sqrt{\epsilon_w^p} + (1-S_{wt}) \sqrt{\epsilon_h} + S_{wb} \sqrt{\epsilon_{wb}^{pb}} + (1-\phi_i) [(1-S_{wb}) \sqrt{\epsilon_{ma}} + S_{wb} \sqrt{\epsilon_{db}}]] \quad 11-4$$

وقد تم شرح بعض الرموز ، أما ϕ_i ، W_t ، W_b ، db فتشير إلى المسامية الكلية ، المياه الكلية ، المياه المرتبطة والفضار وذلك على التوالي . P_b هوأس الاستقطاب بالنسبة

للمياه المرتبطة مع الفضاريات . ويعتبر استخدام عبارة المياه المرتبطة بشكل أساسى كطريقة ملائمة يمكن تطبيقها لتصحيح الفضاريات .

ويمكن تعين P_e بجمل المعادلة (٤-١١) في حالة الطبقات النظيفة الحاملة للمياه بالنسبة لـ P وفي الفضاريات بالنسبة لـ P_b ، ويتتحقق ذلك بعمل الحسابات التكرارية للعلاقة السابقة وذلك في المرحلة الأولى من برنامج التفسير وفي المرحلة الثانية يتم إيجاد قيم S_{wt} و ε_{DPT} و ε_{wt} ... الخ (راجع القسم العملي) .

ج - طريقة التشبع المزدوجة : Dual Saturation Method

تعطي طريقة تعديل P_e للمياه المزدوجة معلومات عن التشبع بالماء في حالة الأوساط التي تحتوي مياه عذبة أو تكون مياهها ذات ملوحة ثابتة . ومع ذلك ، فإن تقييم أس الاستقطاب يصبح صعباً تماماً عندما تتغير الملوحة ، من شروط المياه العذبة إلى قليلة الملوحة . ولإقصاء تأثير الملوحة المغيرة ، يمكن استخدام طريقة التشبع المزدوج لتفسير قياس DPT

إذا توفر قياس للمقاومة ذر تردد منخفض (عادة التحريري العميق أو اللازم لسرع العميق) ، فيمكن كتابة ثلاثة علاقات ببساطة كما يلى :

$$\sqrt{\varepsilon_{DPT}} = \phi_t [S_{wt} \sqrt{\varepsilon_w^{pa}} + (1-S_{wt}) \sqrt{\varepsilon_b}] + (1-\phi_t) \sqrt{\varepsilon_{me}} \quad ٤-١٢-٤$$

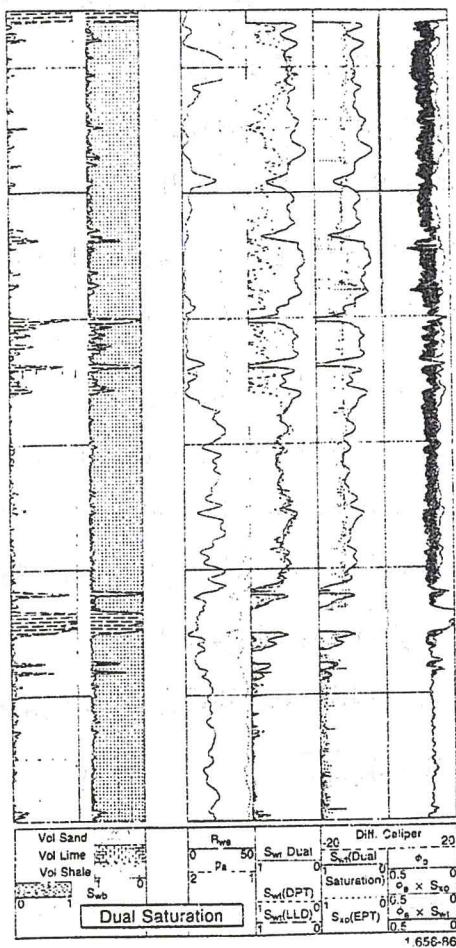
$$S_{wt}^2 = 0.81 R_{fa} / \phi_t^2 R_t \quad ٤-١٢-٤-ب$$

$$\log P_e = \text{Gradient} [\log \text{Intercept} - \log R_{fa}] \quad ٤-١٢-٤-ج$$

حيث أن P_e أس الاستقطاب الظاهري ، R_{fa} مقاومة السائل الظاهري والتي تعين وفق العلاقة $R_{fa} = \frac{\phi_t^2 R_t}{0.81}$. يتم الحصول على R_{fa} من التحرير العميق أو اللازم لسرع العميق ، وتعتبر قيم R_{fa} و P_e كما لو أن الطبقة حاملة للمياه .

أما قيم التدرج " Gradient " وقيم التقاطع " Intercept " فتعرف من الخبرة العلمية في المنطقة أو يمكن الحصول عليها وفق الحسابات التكرارية للمعادلة (٤-١٠) أو للمعادلة (٤-١١) . وهكذا يوجد ثلاثة مجاهيل في المعادلات (٤-١٢) ، (R_{fa}, P_e, S_{wt}) . ويمكن حل هذه بتوافق واحد بتغيير الملوحة في علاقة النسبة P_e / R_{fa} (المعادلة ٤-١٢-٤-ج) حتى يتم تحقيق الموازنة في معادلي التشبع وتتلاعماً معهما .

يوضح الشكل (١٢-٤) مثال لتفسير كمّي لطبقة تحتوي نقط تفّيل . في حقل



شكل ١٢-٤ : التفسير الكمي لبئر من كولومبيا وقيم التشبع المزدوج للتقرّيبة في شروط الملوحة المتغيرة (شلمبرجير) .

من تلك الحسوبة من مقاومة الالتوانوغ بسبب أنها أقل إعتماداً على ملوحة السائل ، ذلك لأن ثابت العزل الكهربائي أقل تأثراً بكثير بالنسبة للملوحة منها للمقارنة . وقيمة S_{wt} المعينة وفق طريقة تعديل t_{po} هي دائماً أقل من أو تساوي إلى S_{xo} المعينة من تفسير قياس EPT.

التسميل الثاني ، توحد الحلول المتفاوضة بالنسبة لـ P_a و R_w و R_{fa} و $S_{wt,Dual}$. ويمكن الحصول على $S_{w,DPT}$ باستخدام طريقة تعديل DPT_{po} و $S_{w,LLD}$ التي يحصل عليها من الالتوانوغ المضاعف .

يمكن ملاحظة في الشكل أن النطاقات المائية السفلية تتعرض من خلل نسب تشبع 100% (S_{wt}) . أما مقابل الرمال الهيدروكربيونية الوسطى ذات قيم R_w ثابتة ، فتبيّن التفسيرات الثلاث قيمة S_{wt} 40% (60%) . والتوافق بين القيم ، يعني أن ملوحة المياه المرافقة للهيدروكربيونات هي نفسها بالنسبة للرمال المائية السفلية .

تشير قيم (R_{fa}) (R_w) (P_a) المخضضة و P_a المرتفعة ، أن الرمال الهيدروكربيونية العليا ، ذات ملوحة متغيرة وعالية . تحصل على S_{wt} من طريقة التعديل t_{po} وهي أدق قيمة

وهذا ليس دائماً في حالة حساب S_w من قياسات الالاترولوغ . ومع ذلك فإن S_{WDPT} الحصول عليها بطريقة التشيع المزدوج هي أكثر احتمالاً لتكون أقرب جداً للحقيقة ، كما أن التغيرات في ملوحة السائل هي على تطابق مع المعطيات الحقلية الأخرى .

لیکن این دستگاه هایی که در میان این دو دستگاه قرار دارند، باید از آنها برای تولید یک سطح موج متعادل استفاده شود.