چاه‌های هوشمند، تولید را بهینه می‌سازند

■ محسن یاوری"SPE"

با توجه به شرایط موجود و امکان حفر چاه‌های انحرافی در مخزن، درحال‌حاضر توانایی رساندن چاه‌ها به نقاط موردنظر وجوددارد. در این راستا قاعده کلی، کنترل فرایند و روش بهینه‌سازی تولید، ابزارهایی را برای تشخیص بسیاری از رفتارها و به مبارزه‌طلبیدن شرایط و مشکلات جدید، مهیامی‌کنند.

باتوجه به مطالعات ته‌چاهی انجام‌شده، تکمیل‌های اولیه باید با رعایت موارد زیر انجام‌شوند:

۱- توسعه تکاملی معیارهای قابل انتقال

۲- سازگارکردن مستدل ومعقول ریسک‌های موجود که با پاسخ مخزن به تخلیه، ارتباط دارند.

در مطالعات «سادگی برای سودمندی» در مقابل «پیچیدگی برای انعطاف‌پذیری» ارایه‌شده است و حساسیت نتایج تکمیل، حکمت هزینه و ریسک موارد غیرقابل پیش‌بینی را در برنامه توجیه‌می‌کند.

تکمیل‌های توام

روش‌های بهینه‌سازی تکمیل ته‌چاهی بر بهبود و اصلاح توانایی‌ها برای گزینشی عمل‌کردن، کنترل از راه دور و مانیتورینگ چند ناحیه‌ای، تمرکز دارند. لازم‌به‌ذکر است که مسأله افزایش هزینه‌ها مستقیماً با تجهیزات موردنیاز سطحی و ته‌چاهی ارتباط مستقیم دارد. با توجه به این مطلب، شرایط ایجادشده در دودسته قابل تقسیم هستند:

- مواردی که افزایش تولید ناشی از به‌کارگیری تکنیک کنترل از راه دور و مانیتورینگ (در خلال طول عمر چاه)، به سادگی می‌توانند مخارج اضافه‌شده را توجیه کند.
- مواردی که در آنها توجیه این مخارج، مشکوک و سوال‌برانگیز است.

خوشبختانه تکنولوژی‌ای که هر دو وضعیت را مورد ملاحظه قراردهد، موجوداست و حتی درحالات مرزی از لحاظ اقتصادی، تکمیل‌های توام توجیه‌پذیر، می‌توانند دست‌یافتنی و موفقیت‌آمیز باشند (شکل ۱).

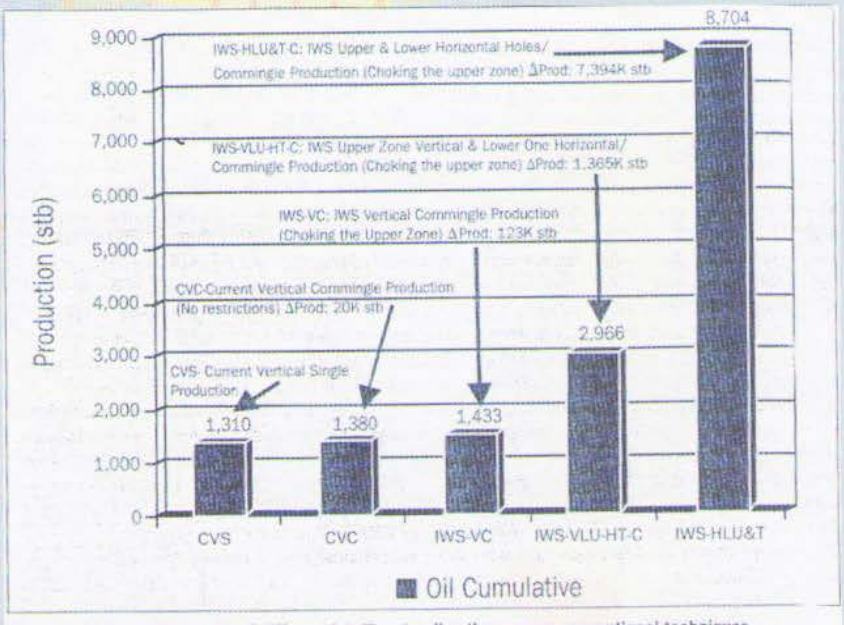

Figure 1: Comparative results of different intelligent well options versus conventional techniques.

علیرضا عمادی- دانشجوی سال چهارم کارشناسی‌مهندسی‌مخازن نفت - دانشگاه صنعت نفت emadi_alireza@yahoo.com

سهیل سراجی- دانشجوی سال چهارم کارشناسی‌مهندسی‌مخازن نفت - دانشگاه صنعت نفت soheil_saraji@yahoo.com

منابع

1) Chopra, A. and Carter, R.: 1985, Proof of the two-phase steady-state theory for flow through porous media, SPE paper 14472.
2) Fetkovich, M.D., Guerrero, E.T., Fetkovich, M.J. And Thomas, L.K.: 1986, Oil and gas relative permeabilities determined from rate-time performance data, SPE papar 15431.
3) Jones, J.R. And Raghavan, R.:1988, Interpretation of. Owing well response in gas condensate wells, SPE paper 14204.
4) Jones, J.R. And Vo, D.T. And Raghavan, R.:1989, Interpretation of pressure-buildup responses in gas condensate wells, SPE paper 15535.
5) Afidick, D., Kaczorowski, N.J., Srivinas, B.: 1994, Production Performance of a retrograde gas reservoir:a case study of the Arun field, SPE paper 28749.
6) Ali, J.K., McGualey, P.J. And Wilson, C.J.:1997, Experimental studies and modeling of gas condensate flow near the wellbore, SPE paper 39053.
7) Asar, H. And Handy, L.L.: 1988, Influence of interfacial tension on gas-oil relative permeability in a gas-condensate system, SPE paper 11740.
8) Barnum, R.S., Brinkman, F.P., Richardson, T.W. And Spillette, A.G.:1995, Gas condensate reservoir behavior: productivity and recovery reduction due to condensation, SPE paper 30767.
9) Danesh, A., Henderson, G.D., Krinis, D., And Peden, J.M.:1988, Experimental investigation of retrograde condensation in porous media at reservoir conditions, SPE paper 18316.
10) Economides, M.J., Schlumberger, D., Dehghani, K, Ogbe, D.O. And Ostermann, R.D.: 1987, Hysteresis effects for gas condensate wells undergoing buildup tests below the dew point pressure, SPE paper 16748.
11) Fevang, O. And Whitson, C.H.:1995, Modeling gas condensate deliverability, SPE paper 30714.
12) Gravier, J.F., Lemouzy P., Barroux, C. And Abed, A.F.:1983, Determination of gascondensate relative permeability on whole cores under reservoir conditions, SPE paper 11493.
13) Hinchman, S.B. And Barree, R.D.: 1985, Productivity loss in gas condensate reservoirs, SPE paper 14203.
14) Jones, J.R., Vo, D.T. And Raghavan, R.:1989, Interoperation of pressure buildup responses in gas condensate wells, SPE paper 15535.
15) Nikravesh, M., Soroush, M.:1996, Theoretical methodology for predictionof gascondensate flow behavior, SPE paper 36704.
16) O'Dell, H.G. And Miller, R.N.:1965, Successfully cycling a low-permeability, high-yield gas condensate reservoir, SPE paper 1495.
17) Saeidi, A. And Handy, L.L.:1974 Flow and phase behavior of gas condensate and volatile oils in porous media, SPE paper 4891.
18) Sigmund, P.M., Dranchuk, P.M., Morrow, N.R. And Purvis, R.A.:1973, Retrograde condensation in porous media, SPE paper 3476.
19) Thompson, L., Niu, J.G. And Reynolds, A.:1993, Well testing for gas condensate reservoirs, SPE paper 25371.
20) Xu, S. And Lee, J.W.:1999, Two-phase well test analysis of gas condensate reservoirs, SPE paper 56483.

هنگامی که توجیه‌پذیری فرایند در حالت کلی مشخص شد، هر عملکردی با اعمال عقاید و تبعیضاتش ضوابط و معیارهای خودش را دارد. البته با درنظرگرفتن این که فرایند همیشه براساس ملاک‌های چاه موردنظر/ سرمایه انجام می‌شود. درعین‌حال باید یادآورشد که پیشرفت توسعه صنعت خدمات‌رسانی با به‌کارگیری تخصص‌های لازم و تجهیزات خاص، به توجیه‌پذیری بیشتر پروسه‌ها کمک شایانی می‌کند.

ساختارهای ارتباطی

به‌کارگیری حس‌گرهای ثابت وکنترل‌کننده‌های جریان ته‌چاهی نیاز به چیدن خطوط کنترل نازک در کنار هم دارند. این خطوط با فرم‌های روغنی (هیدرولیکی) الکتریکی، نوری و یا ساختار فیزیکی هیبرید، سیستم سطحی را به حس‌گرهای ویژه و بخش فعال‌کننده ته‌چاهی وصل می‌کنند. این خطوط به‌صورت مجزا اغلب در بسته‌های فشرده‌ای قراردارند که با یک قالب کپسول شکل پلیمری که با شرایط ته‌چاهی سازگار است، احاطه‌شده‌اند. این بسته‌ها به شکل مستطیلی با ۰/۴اینچ (۱۱میلی‌متر) ضخامت و ۱/۴اینچ (۳۶میلی‌متر) عرض هستند.

خطوط کنترل ویژه، مسیرهای ایزوله فشاری و ایزوله مکانیکی را برای توان موردنظر و خطوط ارتباطی درونی مهیا می‌سازند. یکی ازمواردی که باید مراقب آن بود، این است که هدایت‌گرهای الکتریکی و فیبرهای نوری طوری با موادپرکننده مختلف به شکل صحیح مسلح‌شوند که از ارتعاش‌های طولانی‌مدت ودیگر اثرات ته‌چاهی حفاظت‌شوند و آسیب‌نبینند.

لازم به ذکر است که نقش قالب کپسولی شکل، جمع‌کردن خطوط چندگانه در یک ساختار واحد قابل کنترل است تا امکان انتقال واداره‌کردن راحت‌تر آنها فراهم‌شود که در این راستا مقاومت خم‌شدگی و فرسایش ناشی ازخوردگی برای هریک ازخطوط کنترل درخلال موضع‌گیری و طی عملیات جریان چاه نیز افزایش می‌یابد، اما دراین ساختار واحد باید در ارتباط باجدایی خطوط از هم اطمینان حاصل شود.

در بسته کپسولی شکل از میله‌هایی بانام اصطلاحی "Bumpers Bars" نیز می‌توان استفاده‌کرد که این میله‌ها به‌صورت موازی قرارگرفته و به لحاظ چندلایه بودن قطر بزرگتری نسبت به خطوط کنترل دارند. مزیت استفاده از این میله‌ها نسبت به خطوط کنترل این است که مقاومت بسیار زیادی در حالت خم‌شدن نسبت به طول کامل بسته فشرده ته‌چاهی دارند.

پس از کامل‌شدن تکمیل، بسته‌ها توسط یک قرقره‌کششی که درون یک بسته ویژه قراردارد، کم‌کم بیرون داده‌شده و به گیره اتصالی رایج تیوبینگ و صل می‌شوند. اولین وظیفه این گیره، ایجاد یک محافظ سطح کنترل و محافظ دورکننده شعاعی از توده‌های مختلف و ناپیوستگی‌های داخل چاه است. علاوه براین، وظیفه توزیع وزن بسته آویخته‌شده در طول تیوبینگ را نیز برعهده دارد.

این نکته قابل‌توجه است که به‌طور تجربی، اغلب قطعات مستعد خرابی در سیستم‌های مانیتورینگ چاه، هم در قطعات ته‌چاهی و هم در کریسمس‌تری، در نقاط تماس اتصال‌دهنده هستند. به‌این دلیل اغلب تهیه‌کننده‌ها با به‌کارگیری سیستم‌های آب‌بند فلزبه‌فلز و وسایلی برای تست‌کردن فشار خارجی مجموعه اتصال‌دهنده‌ها بعد از تکمیل، تلاش زیادی در اصلاح این تکنولوژی دارند. گرچه افزایش تعداد اتصالات در تکمیل‌های پیشرفته، نیاز به تمرکز بیشتر بر این موضوع و تکنولوژی آینده خواهدداشت.

سیستم‌های توپک تشدیدکننده

توپک‌ها، به‌عنوان مانعی در برابر فشار اولیه چاه در حال متحول‌شدن هستند. انطباق‌های اولیه توپک‌های طراحی‌شده برای لوله جداری دو رشته‌ای مرسوم، به منظور سازگارکردن تشدید موردنیاز در تکمیل با پمپ شناور الکتریکی صورت می‌گیرد. نظر به این که آب‌بندی این سیستم با یک واشر/آب‌بند انجام‌می‌شود لذا آب‌بند الاستومتریک توپر درجایی که دراثر کابل پمپ شناور الکتریکی فشرده‌شده و به دلیل از بین‌رفتن محافظ آسیب‌دیده است، عملکرد ضعیفی نشان‌داده و آب‌بندی به خوبی انجام‌نمی‌شود. در سیستم‌های توپک پمپ شناور الکتریکی در محیط‌های گازی، مقداری اپوکسی به‌صورت یکپارچه در توپک تزریق‌شده است.

امروزه گرچه در محیط‌های جریان با دما و فشار بالای چاه‌های نفتی و گازی، سیستم‌های کنترل و مانیتورینگ هوشمند نیاز به قابلیت آب‌بندی شدیدی برابر یا بزرگتر از درجه توپک‌های تولیدی یا ایزوله‌کننده دارند، در دسترس‌بودن محدوده اندازه‌ای ۵ ۱/۲ اینچ تا ۱۰ ۳/۴ اینچ، سیستم‌های توپک تشدید امروزی، قابلیت تست‌کردن را فراهم‌می‌سازند، قابلیت آب‌بندی فلزبه‌فلز برای ماکزیمم هشت خط کنترل را مهیا می‌سازد.

به‌علاوه با توجه به سازگاری با فشار و دمای بالای کاربرد مرسوم، سیستم چاه هوشمند با انبساط و انقباض تیوبینگ باید تطبیق زیادی داشته‌باشد. این عملیات با اتصالات انبساطی ویژه و با استفاده از طول استروک ماکزیمم ۲۰فوت (شش‌متر) و خطوط کنترل حداکثر شش‌خطی، انجام‌شده است.

تجهیزات ته‌چاهی پایا

بحث بهینه‌سازی تولید به‌طورکلی حول

محورهای آموزش، بررسی و رسیدگی، نگهداری و تفسیر اطلاعات مناطق حساس سیرمی‌کند. گرچه امروز محاسبات فشار ته‌چاهی در چاه‌های تولیدی، اطلاعاتی باارزش را برای مهندسان مخزن و تولید، فراهم‌می‌سازد، اما انتظارمی‌رود که تقاضا برای محاسبات ته‌چاهی، همچنان به‌طوری چشمگیر افزایش یابد.

با این استدلال، اضافه‌شدن محاسبات فقط به معنی افزایش فراوانی تعداد محاسبات نخواهدبود. اما افزایش پارامترهای محاسباتی (جریان چندفازه، دما، فشار، کرنش، مقاومت، تشخیص ماسه، لرزه‌نگاری) و دانسیته محاسبات (چندنقطه‌ای، توزیع‌شدگی، پیوستگی) لازم‌است(شکل۲).

تغییرات در شرایط پروسه‌ها را دارا باشد.

شیرهای کنترل فعال‌شده از راه‌دور واقع در ته‌چاه، پیشرفت فرایند کنترل را کامل می‌کنند. از جمله تجهیزات کاربردی اولیه رایج، شیرهای کنترل جریان ته‌چاهی، غلاف لغزنده مسلح‌شده هیدرولیکی و ساسات‌های قابل تنظیم هستند، این تجهیزات کاملاً قابل اطمینان و معتبرند و تنها ضعف آن‌ها، کامل نبودن حساسیت سیستم کنترل نشت و یا آلودگی سیال است.

موقعیت شیر در فاصله زیادی حاوی بازتاب کنترلی مستقیم نیست لذا برای افزایش قابلیت کنترل شیر، می‌توان از سیستم‌های الکتروهیدرولیک هیبریدی، سیستم‌های نوع چندشاخه‌ای و سیستم‌های نوع میزبان فشاری استفاده‌کرد. همچنین

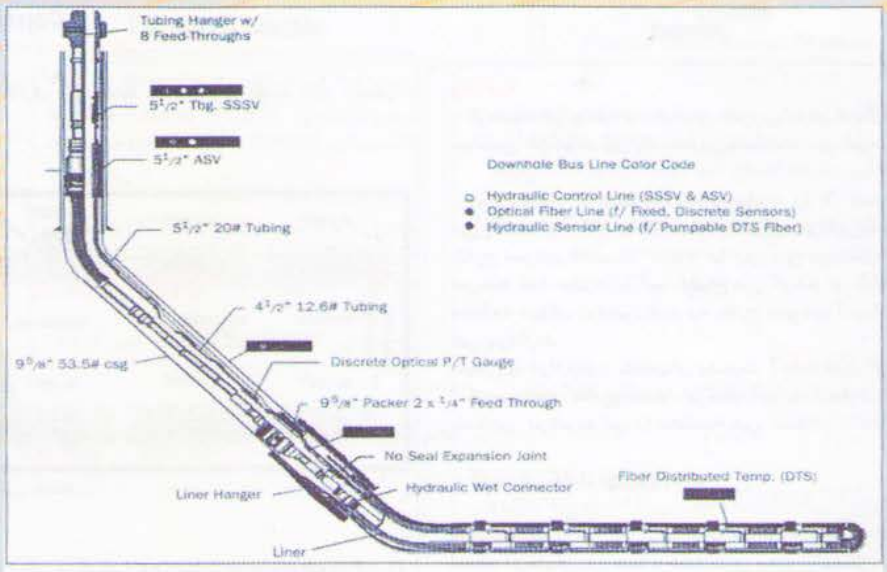

Figure 2: Optical monitoring system deployed over the entire completion interval in conjunction with hydraulically actuated downhole controls allows optimizing of production.

تکنیک‌های بهینه‌سازی تولید معمولاً با تعداد و نوع نقاط اطلاعاتی دردسترس محدود می‌شوند و از طرفی بررسی اطلاعات و حجم تغییر اطلاعات نیاز به ایجاد استفاده از آنها دارد.

کنترل جریان ته‌چاهی از راه‌دور

قواعد کنترل فرایندهای بنیادی برای بهینه‌سازی تولید باید توانایی واکنش به

می‌توان از شیرهای کنترلی، از نوع غلاف مسلح‌شده الکتریکی بهره‌برد که امکان کنترل بازتاب مستقیم و تمرکز ذاتی قدرت مجتمع در آن وجوددارد. گرچه آنها تاکنون کاربرد وسیع پایه‌ای را در صنعت پیدانکرده‌اند.

شیرهای کنترل ته‌چاهی کنترل‌شده ازراه‌دور در بازه رو به رشدی کاربرد پیداکرده‌اند که لیست کوتاهی از تأسیسات و کاربردهای آنها آورده‌شده است:

- جریان توام چند منطقه‌ای و جریان انتخابی
- تعیین نرخ اختصاصی منطقه‌ای چاه تزریق
- فرازآوری با گاز خودکار
- جلوگیری از جریان آب و گاز در ته چاه
- کنترل فوران
- کنترل جریان در زمان بازکردن چاه
- انطباق نفوذپذیری ثانویه انتخابی در چاه‌های افقی به مرحله توسعه‌رسیده
- کنترل تولید جانبی در چاه‌های چندشاخه‌ای
- کنترل یا مسدودکردن جریان منطقه زیر پمپ شناور

نتایج

اصول بهینه‌سازی تولید هنگام اجرای پروسه درچاه سخت، تغییر خاصی نمی‌کند گرچه طراحی چاه و تکمیل آن باید ساختارهای ترکیبی را به سمت اجرای پروسه، هدایت‌کند.

نظر به این که این مقاله بعضی نظریه‌های پایه، ابزارها و پیچیدگی‌های موجود در سیستم‌های چاه هوشمند را تکرارکرده و از طرفی اکنون بیش از ۲۰۰چاه هوشمند در سراسرجهان در حال اجرا هستند، لذا با تجارب و آزمایشات بیشتر و اصلاحات پیوسته برپایه درس‌های آموخته‌شده، می‌توان سود بیشتری از افزایش تولید و بهینه‌سازی آن را فراهم‌نمود که ناشی از پیشرفت این صنعت در سال‌های آینده خواهدبود.

منابع :

مقاله درخصوص قابلیت‌های هوشمند تولید را بهینه می‌کنند، نویسنده: Terry Bussear، چاپ در مجله: E&p(نوامبر۲۰۰۳)