

■ 技術報告 ■

大慶油田における化学攻法

Chemical Flooding in Daqing Oil Field

盧 祥 国*・山 崎 豊 彦**

Lu Xiang-guo Toyohiko Yamazaki

1. 大慶油田の立地とその開発の経緯

大慶油田は中国東北部黒竜江省松遼盆地の中央に位置し、ハルビンの北西約180km、チチハルの南東110kmの地点に、大慶市街が広がっている。

大慶油田は、1955年から松遼盆地の物理探鉱が始められ、1959年には現在の高台子油田の中にある「松基3号井」で原油を確認し、テストで出油した。

大慶油田の中で、まず大慶市街周辺にあるサルト(薩爾図)油田の開発が始められ、1960年から生産が開始された。そして1975年にはラマディアン(喇嘛甸)油田、さらにプタオホア(葡萄花)、ガオタイジ(高台子)各油田の生産が開始され、年間5000万トン以上の原油を生産する世界でも有数な大油田となり、現在でもこの生産水準を維持し続けている。(図-1参照)¹⁾

2. 油田の地質²⁾

大慶油田は松遼ベースンの中央陥没に位置しその面積は $26 \times 10^4 \text{ km}^2$ である。そしてこれは中国最大の油田で、世界の巨大油田の中の一つでもある。大慶脊斜の軸は 20° NE の方向で大きな脊斜構造ベルトは7つの地域的に高い構造を持っている。そして、これは南から北へ145kmの長さを持ち、東から西へ10~30kmの幅を持っている。

構造を形成する地層は、小さな正断層を伴い、一般にその垂直方向落差は30~80mで、1~3kmに及ぶこともある。これらの断層は油や水の分布に殆ど貢献していない。油層は一般に油・水が接触して特異な水力学のシステムを形成している。油田の生産地帯はサルト、プタオホア及びガオタイジ油層で、下部白亜紀の河川、湖沼、碎屑物の層で700mから1200mの深さに堆積している。

ここには40から50の油層が垂直に分布していて、夫々浸透率が高いものや低いもの、また厚い層や薄い層がある(表1と表2に示すように)。稼行出来る層は厚さでは0.2から10.0mの物で有効浸透率は0.03から $1.20 \mu\text{m}^2$ である。

油層のDykstra Parsons³⁾率係数は0.635から0.718に変化する。これは油層の垂直不均一性が非常に高いことを示している。稼行出来る層の孔隙率は20から30%で始めの油飽和率は実油区域で70%から80%で、油水の移行地域は60%から70%である。

大慶油田のタイカン(太康)地方でとられたコアサンプルの元素分析結果では、その化学成分は SiO_2 (50%重量)、 Al_2O_3 (16.2%重量)、 Fe_2O_3 (7.94%重量)、 K_2O (5.60%重量)、 MgO (4.45%重量)、 FeO (2.76%重量)、 CaO (0.40%重量)その他である。

大慶油田の原油はパラフィン基タイプの油で、そのワックスの含有率は20から30%であり、そしてその硫黄含有率は一般に0.1%以下である。

そしてこれはまた脱ガス流動点が高く25から 30°C である。初期ガス・油比は、40から $50 \text{ m}^3 / \text{トン}$ でその容積係数は初期油層圧のもとで1.12である。その飽和圧力は、南から北に6.4から11.0MPaに変化する。

原油の粘度は油層圧、油層温度のもとでは60から10cpに変化し、その比重は 20°C で0.86から0.88である。

化学成分のグループは、飽和炭化水素が55から72%芳香族炭化水素13から23%、炭化水素以外の成分10から30%、ピチューメン0.2から0.5%。

飽和炭化水素/芳香族炭化水素比は2から5で、ノルマルアルカン奇数-偶数卓越度は、普通1.0から1.1。元素分析では炭素分84から87%。水素分12から14%。C/H比は普通6から7である。

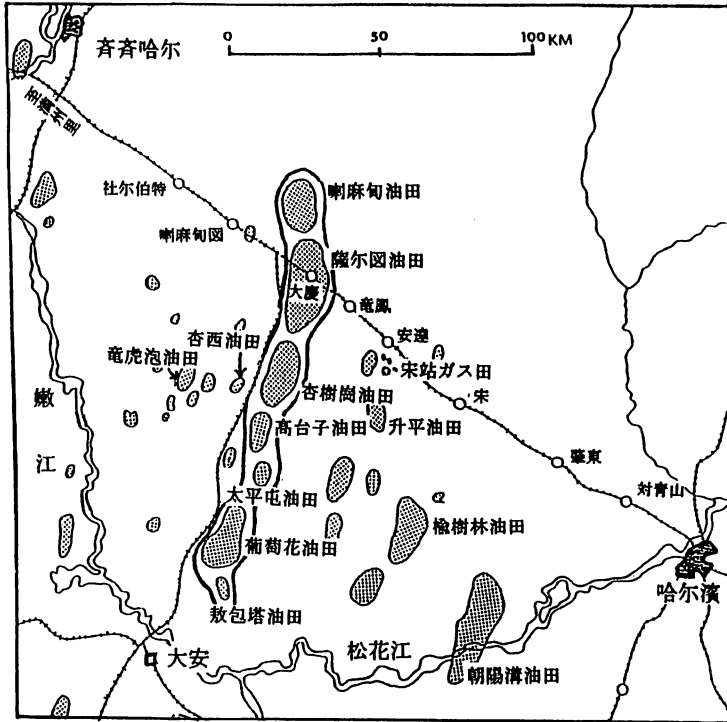
油田水は NaHCO_3 卓越タイプで初期塩分は一般に

* 大慶石油学院石油工学科副教授、早稲田大学特別研究員

** 早稲田大学理工学総合研究センター顧問、名誉教授

〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1

* 1 註) 油層の非均質係数と呼ばれ、その数字が大きいほど油層浸透率の均質度が低いことを示す。



(注) 本図は文献 1) 及び石油公団石油開発技術センターで作成された図である。

図-1 大慶及び周辺油田図

表 1 油田北部地区のガス浸透率変化

ガス浸透率 (μm^2)	稼行層の 厚さ (m)	全層厚に対す る各層の百分 率 (%)	ガス浸透率 (μm^2)	稼行層の厚さ (m)	全層厚に対す る各層の百分 率 (%)
>7.0	1.0	1.0	0.8~1.2	10.3	54.7
6.0~7.0	2.1	3.1	0.5~0.8	10.3	65.0
5.0~6.0	4.1	7.2	0.4~0.5	6.2	71.2
4.0~5.0	6.2	13.4	0.3~0.4	7.2	78.4
3.0~4.0	9.3	22.7	0.2~0.3	4.1	82.5
2.0~3.0	9.3	32.0	0.1~0.2	3.1	85.6
1.2~2.0	12.4	44.4	<0.1	14.4	100.0

表 2 油田南部地区の 5 本の井戸のガス浸透率変化

ガス浸透率 (μm^2)	稼行層の 厚さ (m)	全層厚に対す る各層の百分 率 (%)	ガス浸透率 (μm^2)	稼行層の厚さ (m)	全層厚に対す る各層の百分 率 (%)
>3.0	20.6	20.6	0.4~0.5	5.9	77.4
2.0~3.0	16.0	36.6	0.3~0.4	4.2	81.5
1.5~2.0	7.9	44.5	0.2~0.3	4.2	85.7
1.0~1.5	10.8	55.3	0.1~0.2	4.7	90.4
0.5~1.0	16.2	71.5	<0.1	9.6	100.0

表3 大慶油田における生産及び圧入水の成分分析

成分	生産水(mg/l)	圧入水(mg/l)
CO ₃ ²⁻	76.53	15.31
HCO ₃ ⁻	1820.53	389.00
Cl	719.92	106.36
SO ₄ ²⁻	9.61	57.64
Ca ²⁺	8.02	12.02
Mg ²⁺	4.68	4.86
Na+K ⁺	1196.81	231.96
計	3836.10	817.15

6000から10000mg/l. 生産水と清水の元素分析は表3に示す。

3. 大慶油田における化学攻法の展開

現在、大慶油田は高い含水比油層の開発段階に入ってきた。そしてその含水比は80%以上に達している。中国経済の要請によれば、より長期にわたり安定した生産期間を保持することが必要である。大慶油田では安定生産を保つために利用される三つの方法がある。

その一つは、低いか、又は極めて低い浸透率油層の開発、過密井の掘削、及び化学攻法である。

大慶油田は低い油層温度、低い塩濃度、ひどい不均質な油層を持ち、更に原油の粘度が高いのでEORが有効である。又資金面からの解析でも化学攻法が最良の効果をj得ることが示されてきた。

油田の北部では水攻法による原油回収率は、36.3から41.5%であり、南部でも41.5から45.3%、全体の油田では平均で約40%の回収が期待されてきた。これらの値からは油層の中に原始埋蔵量の60%以上がまだ残されていることを示す。

将来予測はEORを利用すれば約29.0×10⁸トンの油の資源がこの油層に蓄えられていることになる。これは、中国の原油資源の90%に相当する。従って大慶油田での第三次回収のポテンシャルは大変高く評価されている。

3.1 ポリマー攻法^{3) 4)}

1972年以来、4つの小規模なパイロットテスト（小距離スペーシング(SWS)で厚い稼行層(TPZ)、POおよびPT)が大慶油田で行われてきた。そして比較的良好的な結果が得られている。油の回収は、原始埋蔵量の10%以上増加し、ポリマーのトンあたり増油の量は、150トン以上であった。

1996年以来、二つの商業規模のパイロットテストは、ラマディアン油田の南部にある大規模スペーシングのエクステンション井戸グループからなり、ほとんど3年間近く行われてきた。この試験は完了までほど遠いが、得られたデータの解析では成功を収めている。

大慶油田におけるポリマー攻法のパイロットテストデータは、表4に示すようである。

3.2 化学攻法

化学攻法としては、初期にマイセラー・ポリマー攻法が研究された⁵⁾。そして、マイセラー・ポリマー攻法は有効な増油回収方法と考えられている。大慶油田ではこの攻法の経済性を研究するために1982年にパイロットテストの準備が始められた。1986年11月パイロットテスト地域の水攻法が操業を開始し、1987年7月から10月まで井戸の中にマイセラー・ポリマー溶液が圧入された。そして2ヶ月後にその方法の成果を調べ始めた。最も有効な段階で、テスト地区の2本の生産井は含水率がそれぞれ98%と92%から29%と22%となり日産油量は2.5トンから25トンに増加した。

アルカリ・界面活性剤・ポリマー(ASP)攻法は長期間、世界各地で実験室研究開発研究が行われてきた。大慶油田では4つのパイロットテストが1997年以降行われ、そのうち2つのパイロットテストは、油田南部と中央部において終了した。その解析結果から得られたデータによればテストは成功を修め、油井の含水率は著しく減少し、時間と共に油の生産量は増加している。この時圧入されたアルカリ・界面活性剤・ポ

表4 大慶油田におけるポリマー攻法のパイロットテストデータ

区域	パラメータ	平均井戸 間隔m	稼行層の 厚さm	ガス浸透 率μm ²	注入率 m ² /d	溶液濃 度mg/l	ポリマー 原子量10 ⁴	注入圧 MPa	フラクチャー 圧MPa
小距離井戸スペーシング		75	5.1	0.50	150	1000	400	8.8	12.0
厚い稼行層		200	12.5	0.45	200	1000	1500	11.9	12.0
単層パイロット		105	10.8	0.43	100	756	1000	7.5	12.0
二層パイロット		105	24.0	0.50	200	850	1000	6.8	12.8
経剤パイロットテスト		250	13.2	0.47	248	799	1200	11.3	14.5
ラマディアン(1)		212	14.1	0.45	150	1000	1700	11.6	14.0
ラマディアン(2)		300	13.6	0.45	335	1000	1200	11.0	14.0

リマー⁶⁾は、0.3PV (孔隙の容積), そしてそのアルカリの成分は (1.2%NaHCO₃またはNaOH) + 界面活性剤 (0.3%ORSまたはB100) + ポリマー (0.12% ポリアクリルアミド) で、水攻法の場合に比較し、油の回収率は原始埋蔵量の20%増加した。

最近の新しい方法はホーム (泡) 攻法であり大慶油田でのパイロットテストが行われることになっている。計画によれば、2010年までには、化学攻法による油の生産は2,000万トン/年になるとされている。

3.3 微生物攻法^{7) 8)}

微生物を用いて地層内での発酵作用を利用した (EOR) 増油法は石油鉱業においては新しい技術として各国で研究されている。

大慶油田でのこの攻法の可能性を研究するために東の6-J22坑井及び5-J18坑井において、ハフ・パフ法が行われた。この井戸は東部大慶の油・水移行地帯の重質油産出層の中に位置し、1990年6から7月までに行われてきた。東6-J22は40日で閉鎖された流体の生産は15トン/日に増加し、油の生産は3トン/日に増加し、含水率は94から84%に減少した。東5-J18もまた東6-J22の用に良好な成果が達成された。因みに大慶で用いられた微生物は原油の分子量を小さくするような微生物が採用されたと聞いている。

4. 大慶油田における化学攻法の主なる問題点

大慶油田では今後5,000万トン以上の原油生産を維持していくため、化学攻法に重点を置いて研究が進められ、順次開発段階に進みつつあるが、化学攻法では、さらにいくつかの解決しなければならない問題点が指摘されている。これらについて箇条的に述べてみたい。

4.1 ポリマー攻法

(1) 油田断面の変化に対応するための圧入井の注入量調整

大慶油田の油層は、その断面に著しい膨縮が認められる。また、それぞれの断面の浸透率にも変化が大きい。このため、ポリマー攻法に伴うポリマー流体の孔隙内流動速度が異なり、易動度の調整が必要になってくる。すなわちポリマーの易動度をいつも一定に保つことにより、回収率を向上させなければならない。

(2) ポリアクリルアミド分子の対剪断力向上について

この問題は常々聞かされてきたことであるが、なかなか解決するに至っていない。従って、今後も剪断力に強いポリマーを開発し、使用する必要がある。

4.2 アルカリ・界面活性剤・ポリマー混合攻法

かつて化学攻法としては、マイクロエマルジョン攻法、マイセラー攻法と呼ばれる界面活性剤攻法が研究されてきた。大慶油田でも独自に石油スルフォネートを開発し、その回収力が高いといわれており、この方法が採用されるかと思っていた。しかし、界面活性剤の価格が高価なので、これに代わる方法として、アルカリを主力にし、界面活性剤を補助的に少量利用する方法が主流となり、開発研究が進められている。この方法では、さらに次のようなことが解決されることが望まれている。

- (1) さらに優良で廉価な界面活性剤を探す。
- (2) 界面活性剤損失が、減少するようなケミカルの使用について研究する。
- (3) アルカリ・界面活性剤・ポリマー攻法に対する流送シュミレーションのソフトウェアについて研究する。

4.3 アルカリ・界面活性剤・ポリマー・ガス混合攻法

アルカリ・界面活性剤・ポリマー攻法にガスを混合、または交番流送する方法については、まだ研究が少ない。しかし、この方法はポリマーの使用量を節約して易動度をコントロールすることが可能と思われる。従ってこれらの方法について研究し、大慶油田での実用化を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 神原達, 斉藤隆, 平川彦彦, 山内一彦; 中国の石油産業 (1985) 幸書房
- 2) Yang Wanli, Li Yongkang, Gao Ruiqi; Proceeding of AAPG Annual Convention Held in Dallas, U.S.A (1983)
- 3) Wang Zhiwu, Zang Jingcun, Jiang Yanli; Paper (SP E17848), SPE Proceeding of Symposium China (1988)
- 4) Wang Demin, Hao Yuexing, Ye Zonggui; Paper (SP E26401), Proceeding of SPE 68th Annual Technical Conference and Exhibition (1993)
- 5) Wang Demin, Zhang Jingchun, Meng Fanru; SPE International Meeting on Petroleum Engineering Held in Beijing, China (1992)
- 6) Gao Shutang, Li Huabin, Li Hongfu; Proceeding of SPE 205th American Chemical Society National Meeting Held in Denver, USA. Oct. (1994)
- 7) Zang Chunying, Zhang Jincun; Proceeding of International Conference on Microbial Enhanced Oil Recovery Held in New York, USA. (1993)
- 8) Gao Shutang, Li Huabin, Li Zuyi; Proceeding of 4th International Conference on Microbial Enhanced Oil Recovery Held in New York, USA. (1992)