

การประเมินและการทำให้เหมาะสมของหลุมน้ำมันแบบแนวนอนหลายแขนง
ผสวนเทคโนโลยีการเตรียมหลุมเพื่อการผลิตแบบชาญฉลาด



นายฟ้าลั่น ศรีสุริยชัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมปิโตรเลียม ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6057-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EVALUATION AND OPTIMIZATION OF MULTILATERAL WELL
COMBINED WITH INTELLIGENT COMPLETION TECHNOLOGY



Mr. Falan Srisuriyachai

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Petroleum Engineering
Department of Mining and Petroleum Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2004
ISBN 974-17-6057-4
Copyright of Chulalongkorn University

Thesis Title EVALUATION AND OPTIMIZATION OF MULTILATERAL
 WELL COMBINED WITH INTELLIGENT COMPLETION
 TECHNOLOGY

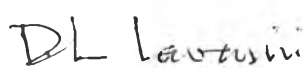
By Mr. Falan Srisuriyachai

Field of Study Petroleum Engineering


Thesis Advisor Suwat Athichanagorn, Ph.D.


Thesis Co-advisor Francesca Verga, Ph.D.

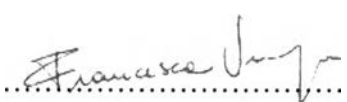
Accepted by the Faculty of Engineering, Chulalongkorn University in
Partial Fulfillment of the Requirements for the Master's Degree


..... Dean of the Faculty of Engineering
(Professor Direk Lavansiri, Ph.D.)

THESIS COMMITTEE

..... Chairman
(Associate Professor Yingyos Khemayodhin)

..... Thesis Advisor
(Suwat Athichanagorn, Ph.D.)

..... Thesis Co-advisor
(Francesca Verga, Ph.D.)

..... Member
(Jirawat Chewaroungroj, Ph.D.)

ฟาลัน ศรีสุริยชัย : การประเมินและการทำให้เหมาะสมของหลุมน้ำมันแบบแวนอนหลายแขนงผาน
เทคโนโลยีการผลิตหลุมเพื่อการผลิตแบบชาญฉลาด (EVALUATION AND OPTIMIZATION
OF MULTILATERAL WELL COMBINED WITH INTELLIGENT COMPLETION
TECHNOLOGY) อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร. สุวัฒน์ อธิชนากร, อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม :
ดร. ฟรานเซสกา แวร์ก้า, จำนวน 101 หน้า, ISBN 947-14-6057-4

ปัจจุบันนี้หลุมน้ำมันแวนอนหลายแขนงได้กลายเป็นที่สนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากหลุมน้ำมัน
ประเภทนี้ สามารถลดค่าใช้จ่ายของการผลิตอย่างเห็นได้ชัด โดยการเชื่อมหลุมน้ำมันแวนอนหลาย ๆ หลุมเข้า
ด้วยกันแทนการสร้างหลุมน้ำมันแนวตั้งหลาย ๆ หลุม ยิ่งไปกว่านั้น หลุมน้ำมันแวนอนยังสามารถเพิ่มพื้นที่
ผิวสัมผัสกับชั้นปิโตรเลียมและช่วยในการเข้าถึงแหล่งกักเก็บปิโตรเลียมที่มีความซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ
ไม่นานมานี้ ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตหลุมเพื่อการผลิตอย่างชาญฉลาด เพื่อมาประยุกต์ใช้กับหลุม
น้ำมันแวนอนหลายแขนง เทคโนโลยีนี้ ช่วยทำให้เราสามารถตรวจสอบและควบคุมการผลิตไฮโดรคาร์บอนจาก
แหล่งผลิตที่อยู่ในระยะทางไกล ณ เวลาใด ๆ

หลุมน้ำมันแบบแวนอนสามแบบคือ หลุมน้ำมันแวนอนแขนงเดี่ยว, หลุมน้ำมันแวนอนสองแขนง
แบบขนาน และ หลุมน้ำมันแวนอนสามแขนงแบบก้างปลา ได้ถูกนำมาใช้ในการศึกษากับแหล่งน้ำมันจำลอง
ซึ่งประกอบไปด้วยแนวของหินน้ำมันบาง ๆ ในชั้นบน และ ชั้นน้ำด้านล่าง จากการศึกษาพบว่า หลุมน้ำมันแบบ
ก้างปลาซึ่งมีความยาวหลุมมากที่สุด สามารถผลิตน้ำมันได้มากที่สุด ยิ่งไปกว่านั้น หลุมน้ำมันแบบนี้ยังสามารถ
ชะลอการผลิตน้ำ จากปรากฏการณ์เคสตีงได้ดีที่สุด เทคโนโลยีการผลิตหลุมเพื่อการผลิตแบบชาญฉลาด
แสดงให้เห็นถึงประโยชน์มากยิ่งขึ้น เมื่อการผลิตน้ำจากหลุมน้ำมันถูกจำกัด ในขั้นตอนสุดท้าย ได้ทำการศึกษา
และปรับเปลี่ยนค่าความสามารถในการซึมผ่านด้านแนวตั้งของแหล่งกักเก็บปิโตรเลียมจำลอง ผลปรากฏว่า
หลุมน้ำมันแวนอนหลายแขนงผานเทคโนโลยีการผลิตแบบชาญฉลาด สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิต
น้ำมันได้ดีที่สุดที่ค่าความสามารถในการซึมผ่านด้านแนวตั้งต่ำ ๆ อย่างไรก็ตาม ที่ค่าความสามารถในการซึม
ผ่านด้านแนวตั้งต่ำมาก ๆ เทคโนโลยีการผลิตหลุมเพื่อการผลิตแบบชาญฉลาดไม่แสดงผลดีใด ๆ ทั้งนี้ หลุม
น้ำมันที่มีการเตรียมหลุมเพื่อการผลิตแบบเปิด ก็สามารถผลิตน้ำมันได้ในอัตราความสามารถเดียวกัน เนื่องจาก
ผลกระทบจากปรากฏการณ์เคสตีงของน้ำนั้นเกิดขึ้นน้อยมาก

ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม
สาขาวิชาวิศวกรรมปิโตรเลียม
ปีการศึกษา 2547

ลายมือชื่อนิติ.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4470449121 : MAJOR PETROLEUM ENGINEERING

KEY WORD: /MULTILATERAL WELL /INTELLIGENT COMPLETION /

FALAN SRISURIYACHAI. THESIS TITLE: EVALUATION AND
OPTIMIZATION OF MULTILATERAL WELL COMBINED WITH
INTELLIGENT COMPLETION TECHNOLOGY. THESIS ADVISOR:
SUWAT ATHICHANAGORN. Ph.D. THESIS CO-ADVISOR:
FRANCESCA VERGA. Ph.D. 101 pp. ISBN 947-14-6057-4

Horizontal and multilateral wells have gained a lot of attention since it can improve well productivity comparing with conventional well. The major benefits are to save cost by decreasing a total number of wells and increase the area of exposure or access particular area in a complex reservoir. Recently, new application for multilateral wells called intelligent completion is available. This new technology allows us to monitor and control the production and hydrocarbon from a remote location in real time.

Three well geometries: horizontal, bilateral, and fishbone wells drilled in a fluvial reservoir which contains oil channel stripes and water aquifer were studied. The comparison between openhole and intelligent completion was performed. The results show that the fishbone geometry which has the longest effective length yields the highest oil production. Moreover, the fishbone well has the ability to retard water cresting phenomenon which causes high water production. The advantages of intelligent completion become more significant when the water production is limited in both completions. The effect of vertical permeability was investigated in the last part of this study. The fishbone well with intelligent completion yields more oil production with lower vertical permeability. Nevertheless, the intelligent elements do not give any advantage if the vertical permeability is extremely small because openhole well sufficiently produces oil without the disturbance from water aquifer located underneath the reservoir.

Department of Mining and Petroleum Engineering

Field of study: Petroleum Engineering

Academic year: 2004

Student's signature.....

Advisor's signature.....

Co-advisor's signature.....

Falan Srisuriyachai

Suwat Athichanagorn

Francesca Verga

ACKNOWLEDGEMENTS

This thesis is dedicated for my parents...

First of all, I would like to give a special thanks to Dr. Suwat Athichanagorn, the person who has inspired me for this study and many good pieces of advice. Thank you very much!

Another special thanks for Dr. Francesca Verga who gave me the great opportunity in my life to do this thesis in Italy, many useful ideas for this study, and also many helps. Grazie mille!

Thanks to Dr. Jirawat Chewaroungroaj and Assoc. Yingyos Khemayodhin for their advice and knowledge that really helped me in this study.

Thanks to the Petroleum Fund committee for their approval of financial support.

Thanks to Signor Lorenzo Alessandrini for the best welcome and many helps in Italy. Moreover, thanks for inspiring me to learn Italian. It is very useful.

Thanks to Eng. Sergio Valle for his advice and help for my stay in Turin.

Thanks to my sister Feuanglap and my brother Lekkla who cure always beside me when I was down and for their supports.

Thanks to my colleagues in Politecnico di Torino for many good pieces of advices, Dario, Pamela, Pierpaolo, Paolo, Vera, Dario, Giorgio, Quinto, Daniela, Silvia, Marco, and Daniele.

Thanks to my friends, Panupong and Ekkasit for their supports.

Finally, thanks to all of my friends for the good time together in pensione DOMUS, Miguel, Prodomus, Katerina, Chirstina, Maria, Sofia, Maria, Elena, Pere, Aldo, Carlo, Kurt, Catalin, Lukasz, David, David, Loreto, Laura, Yolanda, Susana, Rita, Aino, Jenni, Vincent, Diego, Alberto, Leticia, Barbara, Paola, Greg, Antonio, Nuria, Jocelyn, Stefan, Christina, Mihai...Thank you, Grazie, Gracias, Ευχαριστω', Danke, Kiitos, Obrigado, Dziękuję.

CONTENTS

	Page
ABSTRACT (IN THAI)	iv
ABSTRACT (IN ENGLISH)	v
ACKNOWLEDGMENTS	vi
TABLE OF CONTENTS	vii
LIST OF TABLES	x
LIST OF FIGURES	xiii
NOMENCLATURE	xv
CHAPTER	
1. INTRODUCTION	1
2. MULTILATERAL WELL AND INTELLIGENT COMPLETION	3
2.1 Multilateral Well.....	3
2.1.1 Definition.....	3
2.1.1.1 Vertically Staggered Laterals.....	4
2.1.1.2 Horizontally Spread Laterals.....	4
2.1.2 Classification of Multilateral Well.....	6
2.1.3 Advantages of Multilateral Technology.....	9
2.1.4 Disadvantage of Multilateral Technology.....	11
2.1.5 Risk of Multilateral Technology.....	11
2.1.6 Cost of Investment.....	12
2.1.7 Comparing multilateral and horizontal wells.....	12
2.1.8 Multilateral Well Planning.....	13
2.1.9 Examples of Multilateral Well Application.....	15
2.1.10 Successful Cases.....	16
2.1.11 Failure Cases.....	18
2.2 Intelligent Completion.....	19
2.2.1 Configuration.....	20
2.2.2 Usefulness.....	21
2.2.3 Intelligent Completion Components.....	22

CONTENTS (continued)

CHAPTER	Page
2.2.4 Applications.....	24
2.3 Relevant Research.....	25
3. RESERVOIR SIMULATION.....	28
3.1 Introduction.....	28
3.2 Reservoir Modeling.....	29
3.2.1 Reservoir Grid Model.....	30
3.2.2 Definition of Water Aquifer and Properties of Water Zone.....	30
3.2.3 Reservoir Properties in Oil Zone.....	30
3.2.4 Thermodynamic Properties.....	34
3.2.5 Reservoir Fluid Properties.....	34
3.3 Well Modeling.....	35
3.3.1 Well Geometry.....	35
3.4 Well Completion.....	37
3.5 Production Modeling.....	38
3.6 Flow Control Modeling.....	38
3.6.1 Multi-Segment Well Model.....	38
3.6.2 VFPI Module.....	40
3.6.3 Control System of Fluid Entrance.....	41
3.7 Application Option from Simulator.....	41
3.7.1 GROUP Option.....	41
3.7.2 LUMPED Connection Option.....	42
3.8 Numerical Simulation.....	42
4. RESULTS AND DISCUSSION.....	44
4.1 Efficiency of Multilateral Wells.....	45
4.1.1 Openhole Completion without Water Cut Constraint.....	47
4.1.2 Application of Intelligent Completion.....	53

CONTENTS (continued)

CHAPTER	Page
4.1.3 Comparison between Openhole and Intelligent Completion.....	61
4.1.3.1 Traditional Horizontal Well Geometry	62
4.1.3.2 Bilateral Well Geometry.....	65
4.1.3.3 Fishbone Well Geometry.....	67
4.1.4 Comparison between Openhole and Intelligent Completion Considering Water Cut Limit.....	71
4.2 Vertical Permeability Study.....	79
4.2.1 Openhole Completion.....	79
4.2.2 Intelligent Completion.....	85
4.2.3 Comparison between Openhole and Intelligent Completion.	91
5. CONCLUSION.....	93
5.1 Well Efficiency.....	93
5.2 Vertical Permeability Study	94
REFERENCES.....	95
VITAE.....	101

LIST OF TABLES

TABLE	Page
3.1 Reservoir and fluid properties that are location dependent.....	33
3.2 Geometrical properties of horizontal mainbore and lateral branch.....	39
4.1 Simulation results of openhole completion.....	49
4.2 Distance fraction of oil and water production: of openhole wells.....	50
4.3 Statistical values of oil and water production of openhole wells.....	52
4.4 Relative frequency of oil and water production of openhole wells.....	52
4.5 Simulation results of intelligent wells	56
4.6 Distance fraction of oil and water production of intelligent wells.....	57
4.7 Statistical values of oil and water production of intelligent wells.....	60
4.8 Relative frequency of oil and water production of intelligent wells.....	60
4.9 Relative differences between horizontal openhole and intelligent wells.....	63
4.10 Relative differences of statistics between horizontal and intelligent wells.....	64
4.11 Relative differences between bilateral openhole and intelligent wells.....	66
4.12 Relative differences of statistics between bilateral openhole and intelligent wells	67
4.13 Relative differences between fishbone openhole and intelligent wells.....	68
4.14 Relative differences of statistics between fishbone openhole and intelligent wells	69
4.15 Relative difference between openhole wells and intelligent wells considering quantity aspect	70
4.16 Relative difference between openhole wells and intelligent wells considering liability aspect	71

LIST OF TABLES (continued)

TABLE	Page
4.17 Simulation results of openhole wells with a maximum water cut of 0.2.....	73
4.18 Distance fraction of oil and water production of openhole wells with a maximum water cut of 0.2.....	74
4.19 Statistical values of oil and water production of openhole wells with a maximum water cut of 0.2.....	76
4.20 Relative frequency of oil and water production of openhole wells with a maximum water cut of 0.2.....	76
4.21 Relative differences between openhole wells and intelligent wells with the same water cut of 0.2.....	77
4.22 Relative differences between openhole wells and intelligent wells considering reliability aspect with the same water cut of 0.2.....	78
4.23 Simulation results of fishbone openhole wells for different vertical permeabilities.....	80
4.24 Distance fraction of oil and water production of fishbone openhole wells for different vertical permeabilities.....	82
4.25 Statistical values of oil and water production of fishbone openhole well for different vertical permeabilities.....	84
4.26 Relative frequency of fishbone openhole well for different value of vertical permeabilities	84
4.27 Simulation results of fishbone intelligent wells for different vertical permeabilities.....	86
4.28 Distance fraction of oil and water production of fishbone intelligent wells for different vertical permeability.....	88
4.29 Statistical values of oil and water production of fishbone intelligent wells for different vertical permeabilities.....	89
4.30 Relative frequency of fishbone intelligent well for different value of vertical permeabilities	90

LIST OF TABLES (continued)

TABLE	Page
4.31 Relative differences between fishbone openhole wells and intelligent wells for different vertical permeability considering quantity aspect.....	91
4.32 Relative differences of statistical values between fishbone openhole wells and intelligent wells for different vertical permeabilities considering reliability aspect.....	92

LIST OF FIGURES

FIGURE	Page
2.1 General well geometries of multilateral well.....	6
2.2 Multilateral well classification.....	9
3.1 Reservoir grid cell model.....	30
3.2 3-D illustration and top view of reservoir model showing the heterogeneity of permeability.....	31
3.3 3-D illustration and top view of reservoir model showing the heterogeneity of oil saturation (S_o).....	32
3.4 3-D illustration and top view of reservoir model showing the heterogeneity of porosity.....	32
3.5 Relative permeability respect to water saturation.....	33
3.6 Well location for three well geometries from top view of the model.....	36
3.7 Side view of the traditional horizontal geometry.....	36
3.8 Top view of bilateral well and fishbone well geometries.....	36
3.9 Intelligent completion system.....	37
3.10 Schematic diagram of multi-segment option.....	39
4.1 Average original oil in place distribution curve.....	45
4.2 Statistical analysis for oil production distribution curve.....	46
4.3 Statistical analysis for water production distribution curve.....	47
4.4 N_p and W_p distribution curves of openhole wells.....	48
4.5 Oil and water rate of openhole completion wells.....	51
4.6 The effect from inflow control valve on oil rate.....	54
4.7 N_p and W_p distribution curves of intelligent wells.....	55
4.8 Oil rate of intelligent wells.....	58
4.9 Water rate of intelligent wells.....	59
4.10 N_p and W_p distribution curves of traditional horizontal well geometry.....	63

LIST OF FIGURES (continued)

FIGURE	Page
4.11 N_p and W_p distribution curves of bilateral well geometry.....	66
4.12 N_p and W_p distribution curves of fishbone well geometry.....	68
4.13 N_p and W_p distribution curves of openhole wells with a maximum water cut of 0.2.....	72
4.14 Oil and water rate of openhole wells with a maximum water cut of 0.2.....	75
4.15 N_p and W_p distribution curves of fishbone openhole wells for different vertical permeabilities.....	80
4.16 Relationship curves between vertical permeability and liquid production obtained from fishbone openhole completion.....	81
4.17 Oil and water rate obtained from fishbone openhole wells for different vertical permeabilities.....	83
4.18 N_p and W_p distribution curves of fishbone openhole wells of different vertical permeabilities	85
4.19 Oil rate obtained from fishbone intelligent wells for different vertical permeabilities.....	87
4.20 Water rate obtained from fishbone intelligent wells for different vertical permeabilities.....	88

NOMENCLATURE

a	Difference between the minimum value and the most probable value of oil and water production
b	Difference between minimum and maximum value of oil and water production
B_o	Oil formation volume factor
B_w	Water formation volume factor
c_{aqui}	Aquifer compressibility
c_r	Rock compressibility
c_w	Water compressibility
f_g	Fractional flow of gas
f_w	Fractional flow of water
k_{aqui}	Permeability of water aquifer
k_{ro}	Oil relative permeability
k_{rw}	Water relative permeability
k_x	Permeability in x direction
k_y	Permeability in y direction
k_z	Permeability in z direction
N_p	Total oil production
p	Pressure
p_c	Capillary pressure
p_i	Reservoir initial pressure
q_T	Total flowrate
RF	Recovery factor
r_w	Wellbore radius
S_o	Oil saturation
S_w	Water saturation
S_{wc}	Connate water
S_{wmax}	Maximum water saturation
W_p	Total water production

GREEK

δ	Coefficient of variation
ϕ	Porosity
ϕ_{aw}	Porosity of water aquifer
ρ_o	Oil density
ρ_w	Water density
ρ	Standard deviation
σ	Average value
μ	Water viscosity
μ	Oil viscosity
μ	