

YOUQICANG GONGCHENG
SHIXI ZHIDAOSHU

油气藏工程 实习指导书

周红 朱芳冰 潘琳 编



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

油气藏工程实习指导书

YOUQICANG GONGCHENG SHIXI ZHIDAOSHU

周 红 朱芳冰 潘 琳 编



中国地质大学出版社

ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

图书在版编目(CIP)数据

油气藏工程实习指导书/周红,朱芳冰,潘琳编. —武汉:中国地质大学出版社,2017.12
ISBN 978-7-5625-4151-6

I. ①油…

II. ①周…②朱…③潘…

III. ①油气藏—石油工程—实习—高等学校—教材

IV. ①TE-45

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 300358 号

油气藏工程实习指导书

周 红 朱芳冰 潘 琳 编

责任编辑:彭钰会 赵颖弘

策划编辑:赵颖弘

责任校对:张咏梅

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 388 号)

邮政编码:430074

电 话:(027)67883511

传真:67883580

E-mail:cbb@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

http://cugp.cug.edu.cn

开本:787 毫米×1 092 毫米 1/16

字数:115 千字 印张:4.5

版次:2017 年 12 月第 1 版

印次:2017 年 12 月第 1 次印刷

印刷:武汉华东印务有限公司

印数:1—300 册

ISBN 978-7-5625-4151-6

定价:15.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前 言

“油气藏工程”是一门认识和开发油气藏的综合性的工程技术学科。学生通过学习本课程,应掌握油气藏工程的基本概念、基本原理和基本方法,学会用油气藏工程的理论解决工程中的实际问题;通过理论教学与工程实践相结合,培养学生分析问题和解决问题的能力,培养学生的专业技能,提高学生的专业素质。

“油气藏工程”是面向油田生产实践性很强的一门课程,学生需要通过反复大量的实习,才能真正领会和掌握书本知识,将所学到的理论知识融会贯通,从而提高综合能力。本课程将理论教学与工程设计紧密结合,强化了工程实践和创新能力的培养。

为配合“油气藏工程”的教学,根据教学大纲的要求,参考相关的教材及讲义,编者编写了《油气藏工程实习指导书》。

本书包含了油气藏工程的主要研究内容和技术方法,收集整理了从开发层系的划分到储量计算与综合评价共 14 个实习,有助于训练学生的综合分析能力。通过这些实习,可以深化学生对油气藏工程研究的理解,帮助学生掌握油气藏工程研究的基本技能。

本书由周红、朱芳冰、潘琳在油气藏工程上机实习的基础上,结合多年的教学实践编写而成。在编写过程中,得到了中国地质大学(武汉)资源学院在各方面的全力支持,资源学院石油工程系的同事们提供了很多宝贵建议及有用素材,在此一并表示最衷心的感谢!

由于时间仓促,编者水平有限,书中难免有不妥或错误之处,敬请读者提出批评及建议,以便今后改进。

编 者

2017 年 9 月

目 录

实习一 开发层系的划分	(1)
一、实习目的	(1)
二、实习原理	(1)
三、实习内容	(1)
四、思考题	(2)
实习二 分流曲线及其应用	(3)
一、实习目的	(3)
二、实习原理	(3)
三、实习内容	(4)
四、实习步骤	(4)
实习三 水驱曲线在油田开发中的应用	(6)
一、实习目的	(6)
二、实习原理	(6)
三、实习内容	(7)
四、实习步骤	(8)
实习四 甲型水驱曲线直线段的校正方法及应用	(11)
一、实习目的	(11)
二、实习原理	(11)
三、实习内容	(11)
四、实习步骤	(11)
实习五 广义童氏图版的建立与应用	(13)
一、实习目的	(13)
二、实习原理	(13)

三、实习内容	·····	(14)
四、实习步骤	·····	(14)
实习六 无因次采油(液)指数与含水率关系曲线	·····	(16)
一、实习目的	·····	(16)
二、实习原理	·····	(16)
三、实习内容	·····	(17)
四、实习步骤	·····	(17)
实习七 油藏物质平衡分析	·····	(18)
一、实习目的	·····	(18)
二、实习原理	·····	(18)
三、实习内容	·····	(19)
四、实习步骤	·····	(22)
五、思考题	·····	(28)
实习八 气藏物质平衡分析	·····	(29)
一、实习目的	·····	(29)
二、实习原理	·····	(29)
三、实习内容	·····	(30)
四、实习步骤	·····	(32)
实习九 产量递减分析在油田开发中的应用	·····	(34)
一、实习目的	·····	(34)
二、实习原理	·····	(34)
三、实习内容	·····	(34)
四、实习步骤	·····	(37)
五、思考题	·····	(39)
实习十 产量衰减曲线及校正方法	·····	(40)
一、实习目的	·····	(40)
二、实习原理	·····	(40)
三、实习内容	·····	(41)
四、实习步骤	·····	(42)

实习十一 气井产能试井方法	(43)
一、实习目的	(43)
二、实习原理	(43)
三、实习内容	(45)
四、实习步骤	(45)
五、思考题	(47)
实习十二 常规试井分析及其应用	(48)
一、实习目的	(48)
二、实习原理	(48)
三、实习内容	(52)
四、思考题	(53)
实习十三 现代试井分析	(54)
一、实习目的	(54)
二、实习原理	(54)
三、实习内容	(54)
四、实习步骤	(57)
实习十四 储量计算与综合评价	(58)
一、实习目的	(58)
二、实习原理	(58)
三、实习内容	(60)
参考文献	(63)

实习一 开发层系的划分

一、实习目的

1. 掌握油田开发层系划分的目的、意义及原则。
2. 学会合理划分开发层系。

二、实习原理

油田常把一些性质相近的油层组合在一起,采用与之相适应的井网、注水方式和工作制度分别进行开发。用同一井网同时开发的若干油层的组合,被称为一个开发层系。油田开发层系的划分是提高油田开发效果的重要措施之一。

合理划分开发层系,主要遵循以下原则:

(1)一个独立的开发层系应具有一定的地质储量作为高产稳产的物质基础,以保证这套层系能达到一定的采油速度,且油井应具有一定的生产能力,从而达到较好的技术经济指标。

(2)一个开发层系的上、下必须具有良好的隔层,才能在注水开发的条件下,与其他层系严格地分开,以防止不同层系之间的相互窜通和干扰。

(3)在同一开发层系内的各油层性质应该接近,主要是各油砂体的渗透率和延伸分布状况不能相差过大,以保证各油层对注水方式和井网具有共同的适应性。

(4)同一开发层系内,构造条件、油水分布、压力系统和原油性质应接近一致,开发井段不宜过长,为简化采油工艺创造条件。

(5)划分开发层系和确定井网时,要考虑当前分层开采工艺水平,在分层工艺所能解决的范围内,尽量不要将层系划分得过细,这样既能达到较好的开发效果,又可减少钻井及油田建设工作量。

合理划分开发层系和采用先进的开采技术,都是解决层间矛盾的重要途径,但是它们不能互相代替。分层开采工艺的发展,进一步提高了层系划分的效果,而合理地划分层系,则为充分发挥分层开采工艺的作用创造了条件,二者相辅相成。一般说来,采油井层系可以粗划,而注水井的层系则要细划。

三、实习内容

1. 某油田有 4 个含油层系,各层系的基本数据如表 1-1,对该油田划分开发层系并

说明划分的理由。

表 1-1 某油田 4 个含油层系基本数据

小层	油层厚度 (m)	储量 (10^4 t)	压力 系数	原油黏度 (mPa·s)	渗透率 ($10^{-3}\mu\text{m}^2$)
C I	20	2000	1.2	0.8	5
C II	10	1000	1.2	0.9	20
C III	10	1000	1.2	0.9	20
C IV	2	50	1.0	0.8	5

2. 某油田含有 3 组地层,基本数据如表 1-2,试说明如何划分开发层系以及划分依据?

表 1-2 某油田 3 组地层基本数据

地层	可采储量 (10^4 t)	油层厚度 (m)	渗透率 ($10^{-3}\mu\text{m}^2$)	原油黏度 (mPa·s)
1	200.0	10.0	100.0	50
2	50.0	5.0	150.0	60
3	70.0	15.0	500.0	3

四、思考题

1. 划分开发层系的主要意义?
2. 开发层系的开发次序应遵循什么原则?
3. 影响开发层系划分的因素有哪些?

实习二 分流曲线及其应用

一、实习目的

1. 熟悉 Grapher 绘图软件。
2. 掌握分流曲线的绘制方法。
3. 掌握分流曲线的应用。

二、实习原理

(一)分流曲线

1941 年莱弗里特根据油水关系的达西定律,导出了分流方程式:

$$f_w = \frac{1 + \frac{K}{V_t} \cdot \frac{K_{ro}}{\mu_o} \left(\frac{\partial p_c}{\partial L} - g \Delta \rho \sin \theta \right)}{1 + \frac{K_{ro}}{K_{rw}} \cdot \frac{\mu_w}{\mu_o}} \quad (2-1)$$

在实际应用中,为了讨论问题方便,常把水驱油系统放在水平地层中讨论,即:

$$f_w = \frac{1}{1 + \frac{K_{ro}}{K_{rw}} \cdot \frac{\mu_w}{\mu_o}} \quad (2-2)$$

用上述公式,再由任意 S_w 在油水相对渗透率曲线上查出对应的 K_{ro} 、 K_{rw} ,即可确定出该饱和度下的含水率。重复上述步骤,求出所有 S_w 对应的 f_w ,作图则可求出 $f_w - S_w$ 关系曲线,即分流曲线(图 2-1)。

(二)分流曲线的应用

1. 求出水驱前缘的含水饱和度 S_{wf} 。

从束缚水饱和度 S_{wi} 或 $f_w = 0$ 的 S_w 处作一条分流曲线的切线,切点处即为水驱前缘的含水饱和度 S_{wf} (图 2-1)。

2. 求前缘后的平均含水饱和度 \bar{S}_{wf} 。

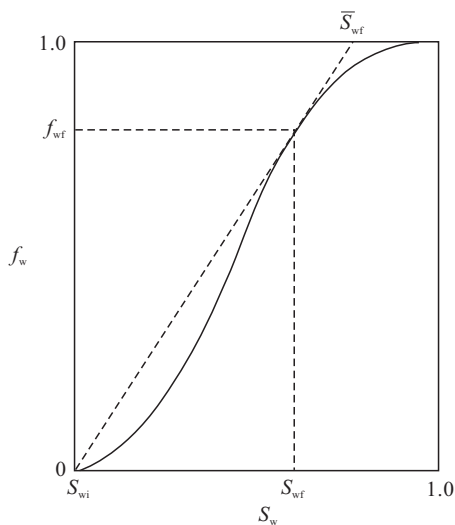


图 2-1 分流曲线示意图

从束缚水饱和度 S_{wi} 或 $f_w=0$ 的 S_w 处作一条分流曲线的切线,将切线延长到与含水率等于百分之百的水平线相交,这个交点所对应的饱和度就等于前缘后的平均含水饱和度(图 2-1)。

3. 求见水后的平均含水饱和度 \bar{S}_w 。

在分流曲线上对应于 (S_w, f_w) 点作切线,该切线与含水率等于百分之百的水平线的交点所对应的含水饱和度就是此时的平均含水饱和度 \bar{S}_w 。

三、实习内容

某油藏油水相对渗透率数据如表 2-1 所示。已知原油黏度 $\mu_o=1.0\text{mPa}\cdot\text{s}$,水的黏度 $\mu_w=0.5\text{mPa}\cdot\text{s}$,渗透率变异系数 $V_k=0.6$,要求:

- (1) 绘制油水相对渗透率曲线,并确定束缚水饱和度和残余油饱和度。
- (2) 绘制分流曲线。
- (3) 确定油水前缘处的含水饱和度 S_{wf} 。
- (4) 求油水前缘后的平均含水饱和度 \bar{S}_{wf} 。
- (5) 求油层的无水采收率以及油层的最终采收率。
- (6) 当出口端含水饱和度为 0.5 时,油层的平均含水饱和度为多少?

表 2-1 某油藏油水相对渗透率数据

S_w	K_{ro}	K_{rw}
0.10	1.000	0.000
0.30	0.373	0.070
0.40	0.210	0.169
0.45	0.148	0.226
0.50	0.100	0.300
0.55	0.061	0.376
0.60	0.033	0.476
0.65	0.012	0.600
0.70	0.000	0.740

四、实习步骤

1. 根据油水相对渗透率数据,绘制油水相对渗透率曲线。对应水相渗透率为 0 的含水饱和度即束缚水饱和度;对应油相渗透率为 0 的含水饱和度为最大含水饱和度,1 减最大含水饱和度即残余油饱和度。

2. 利用公式(2-2)求出含水率,根据计算出的数据(表 2-2)绘制出分流曲线。

表 2-2 某油藏含水率的计算数据表

序号	S_w	K_{ro}	K_{rw}	f_w
1	0.10	1.000	0.000	
2	0.30	0.373	0.070	
3	0.40	0.210	0.169	
4	0.45	0.148	0.226	
5	0.50	0.100	0.300	
6	0.55	0.061	0.376	
7	0.60	0.033	0.476	
8	0.65	0.012	0.600	
9	0.70	0.000	0.740	

3. 采用从束缚水饱和度引分流曲线切线的方法,确定油水前缘处的含水饱和度 S_{wf} 和油水前缘后的平均含水饱和度 \bar{S}_{wf} 。

4. 根据公式(2-3)可以计算出油层的无水采收率($R_{\text{无水}}$):

$$R_{\text{无水}} = \frac{N_p}{N} = \frac{\Phi A X_f (\bar{S}_{wf} - S_{wi})}{\Phi A L (1 - S_{wi})} = \frac{\bar{S}_{wf} - S_{wi}}{1 - S_{wi}} \quad (2-3)$$

$$\bar{S}_{wf} = S_{wi} + \frac{(1 - f_{wf})}{f'_{wf}} \quad (2-4)$$

根据公式(2-5)可以计算出油层的最终采收率(E_R):

$$E_R = E_D \times E_V \quad (2-5)$$

式中: E_D ——驱油效率;

E_V ——体积波及系数。

5. 当已知出口端含水饱和度,且这个含水饱和度大于没有见水前的前缘饱和度时,可以采用作切线的方法确定平均含水饱和度。

实习三 水驱曲线在油田开发中的应用

一、实习目的

1. 掌握水驱特征曲线分析基本方法和原理。
2. 进一步熟悉 Grapher 绘图软件。
3. 熟悉相关开发指标的计算方法。

二、实习原理

水驱曲线是注水开发油田固有的特征曲线,其主要作用是求取水驱油田可采储量、采收率和多种对油田开发有用的信息,是油气藏工程中的一种重要方法。对于天然水驱或人工注水的油藏,当它全面开发并进入稳定生产阶段后,若将累积产水量与累积产油量,或水油比与累积产油量分别绘在半对数坐标上,在含水率达到一定高度并逐步上升以后,常会出现一条近似的直线段,这类曲线被称为水驱曲线。利用水驱特征曲线方法可以确定水驱动态地质储量(N),可采储量(N_R),采收率(E_R);预测油田综合含水率(f_w),预测地层平均含水饱和度(S_w),预测未来油田开发动态,评价开发效果,因而在国内外得到了广泛的应用。

1959年苏联学者马克西莫夫首次在半对数坐标纸上绘制出累积产水量与累积产油量的直线关系曲线。1978年我国著名油田开发专家童宪章先生,将此关系式命名为甲型水驱曲线。自20世纪60年代至今,国内外学者对水驱曲线进行了不断的探索,并取得了大量的成果,尽管水驱曲线法有许多种表达形式,但甲型水驱曲线方法仍在水驱油田具有很好的实际应用价值。

1. 累积产水量与累积产油量关系。

甲型水驱曲线:

$$\lg W_p = A_1 + B_1 N_p \quad (3-1)$$

动态地质储量:

$$N = \frac{7.5422}{B_1^{0.969}} \quad (3-2)$$

累积产油量:

$$N_p = \frac{\lg WOR - [A_1 + \lg(2.303B_1)]}{B_1} \quad (3-3)$$

可采储量:

$$N_R = \frac{\lg(\text{WOR})_{\max} - [A_1 + \lg(2.303B_1)]}{B_1} \quad (3-4)$$

综合含水率:将甲型水驱曲线公式(3-1)对时间求导得:

$$\frac{1}{2.303W_p} \frac{dW_p}{dt} = B_1 \frac{dN_p}{dt} \quad (3-5)$$

由式(3-5)得:

$$\text{WOR} = 2.303B_1W_p \quad (3-6)$$

$$f_w = \frac{\text{WOR}}{1 + \text{WOR}} = \frac{1}{1 + \frac{1}{2.303B_1 10^{A_1+B_1N_p}}} \quad (3-7)$$

2. 水油比与累积产油量关系。

水油比与累积产油量关系:

$$\lg \text{WOR} = A_2 + B_2 N_p \quad (3-8)$$

累积产油量:

$$N_p = \frac{\lg \text{WOR} - A_2}{B_2} \quad (3-9)$$

可采储量:

$$N_R = \frac{\lg(\text{WOR})_{\max} - A_2}{B_2} \quad (3-10)$$

3. 采出程度和含水率的关系。

将采出程度的定义式 $R = \frac{N_p}{N_o} \times 100\%$ 代入式(3-8)中,得到:

$$\lg \text{WOR} = A_2 + B_2 N_o R \quad (3-11)$$

$$\text{WOR} = \frac{f_w}{1 - f_w} \quad (3-12)$$

由式(3-11)和式(3-12)可以得出采出程度和含水率的关系:

$$\lg \frac{f_w}{1 - f_w} = A + BR \quad (3-13)$$

式中: $A = A_2$;

$$B = B_2 N_o。$$

三、实习内容

某水驱油田开发数据如表 3-1 所示,已知地质储量 $N_o = 7386 \times 10^4 \text{ t}$,则:

1. 绘制 $\lg W_p = A_1 + B_1 N_p$ 甲型水驱曲线,分析水驱特征曲线的直线段,并求取拟合参数 A_1 、 B_1 。

2. 利用甲型水驱曲线法预测油田动态地质储量 N 。

3. 预测含水 98% 时的可采储量 N_R 及采收率 E_R 。
4. 求 2016 年的实际含水率与预测含水率的绝对误差和相对误差。
5. 求含水率 88% 时的采出程度是多少？
6. 绘制油田采出程度与含水率的 $f_w - R$ 和 $\lg \frac{f_w}{1-f_w} - R$ 关系曲线，并从中得出结论。

表 3-1 某水驱油田开发数据表

时间(年)	累积产油量 $N_p (\times 10^4 \text{ t})$	累积产水量 $W_p (\times 10^4 \text{ t})$
1998	286.46	29.72
1999	367.83	33.58
2000	459.91	40.16
2001	569.59	53.49
2002	693.10	75.38
2003	814.83	99.30
2004	961.33	135.40
2005	1134.49	192.68
2006	1314.63	286.18
2007	1486.35	419.71
2008	1649.54	595.21
2009	1810.66	804.73
2010	1962.16	1073.42
2011	2107.63	1425.53
2012	2237.82	1817.36
2013	2354.08	2256.73
2014	2453.28	2693.59
2015	2543.22	3164.25
2016	2623.12	3634.42

四、实习步骤

1. 整理实习数据。根据某水驱油田开发数据表(表 3-1)和地质储量 $N_0 = 7386 \times 10^4 \text{ t}$ ，整理出含水率、水油比以及采出程度的数据，列于表 3-2 中。

2. 在 $\lg W_p - N_p$ 坐标系中作图,分析甲型水驱特征曲线的直线段,并求取拟合参数 A_1 、 B_1 。

3. 利用甲型水驱曲线法的动态地质储量计算公式(3-2),预测水驱油田的动态地质储量。

4. 利用甲型水驱曲线法的可采储量计算公式(3-4),预测水驱油田的可采储量,然后根据地质储量求出油田的采收率。

表 3-2 某水驱油田开发数据整理表

时间 (年)	累积产油量 $N_p (\times 10^4 \text{ t})$	累积产水量 $W_p (\times 10^4 \text{ t})$	含水率 $f_w (\%)$	水油比 WOR	采出程度 $R (\%)$
1998	286.46	29.72			
1999	367.83	33.58			
2000	459.91	40.16			
2001	569.59	53.49			
2002	693.10	75.38			
2003	814.83	99.30			
2004	961.33	135.40			
2005	1134.49	192.68			
2006	1314.63	286.18			
2007	1486.35	419.71			
2008	1649.54	595.21			
2009	1810.66	804.73			
2010	1962.16	1073.42			
2011	2107.63	1425.53			
2012	2237.82	1817.36			
2013	2354.08	2256.73			
2014	2453.28	2693.59			
2015	2543.22	3164.25			
2016	2623.12	3634.42			

5. 根据含水率预测公式(3-7)对 2016 年的含水率进行预测,并与实际含水率进行比较,求出含水率的绝对误差和相对误差。

6. 求出含水率 88%时的采出程度。

(1)方法一。

当 $f_w = 88\%$ 时, 求出对应的 WOR, 根据公式 $WOR = 2.303B_1W_p$, 求出累积产水量 W_p , 再根据 $\lg W_p = A_1 + B_1 N_p$, 求出累积产油量 N_p , 最后根据公式 $R = \frac{N_p}{N_o} \times 100\%$, 求出采出程度。

(2)方法二。

在 $\lg WOR - N_p$ 坐标系中作图, 分析 $\lg WOR = A_2 + B_2 N_p$ 水驱特征曲线的直线段, 求取拟合参数 A_2, B_2 。当 $f_w = 88\%$ 时, 求出对应的 WOR, 根据公式 $\lg WOR = A_2 + B_2 N_p$, 求出累积产油量 N_p , 最后根据公式 $R = \frac{N_p}{N_o} \times 100\%$, 求出采出程度。

7. 根据表 3-2 中采出程度与含水率的数据, 绘制 $f_w - R$ 和 $\lg \frac{f_w}{1-f_w} - R$ 关系曲线, 并从中得出结论。