

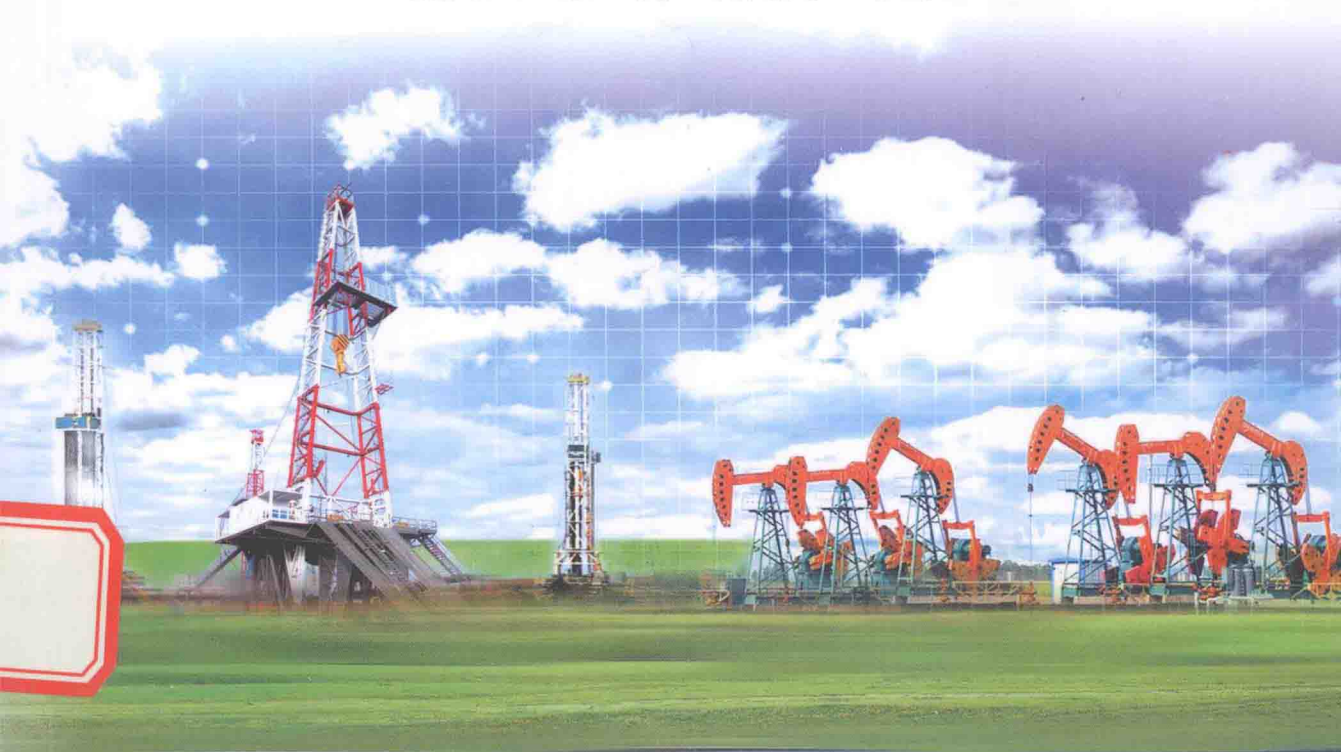


高等院校石油天然气类规划教材

石油工程设计

(第二版)

熊青山 张光明 喻高明 等编著



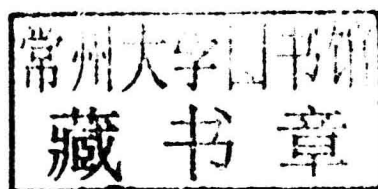
石油工业出版社
Petroleum Industry Press

高等院校石油天然气类规划教材

石油工程设计

(第二版)

熊青山 张光明 喻高明 等编著



石油工业出版社

内 容 提 要

本书以石油工程理论及工艺技术为基础,结合石油天然气行业标准,系统介绍了石油工程设计的基本原则、方法及设计流程等。全书由油田开发设计与分析、钻井工程设计和采油工程设计三大部分组成。本书结构严谨、图文并茂,具有较强的可读性。

本书可作为石油高等院校石油工程专业的教学用书,也可作为从事油藏工程、钻井工程、采油工程等技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

石油工程设计/熊青山等编著. —2 版.

北京:石油工业出版社,2016. 12

(高等院校石油天然气类规划教材)

ISBN 978—7—5183—1596—3

I. 石…

II. 熊…

III. 石油工程—工程设计—高等学校—教材

IV. TE

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 274632 号

出版发行:石油工业出版社

(北京市朝阳区安华里 2 区 1 号楼 100011)

网 址:www. petropub. com

编辑部:(010)64523579 图书营销中心:(010)64523633

经 销:全国新华书店

排 版:北京苏冀博达科技有限公司

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2016 年 12 月第 2 版 2016 年 12 月第 2 次印刷

787 毫米×1092 毫米 开本:1/16 印张:20. 5

字数:524 千字

定价:44. 00 元

(如发现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究

《石油工程设计(第二版)》

编写人员

主 编：熊青山 张光明 喻高明

副 主 编：李军亮 江厚顺

参 编 人 员：楼一珊 王越支 夏宏南 金业权

凌建军 汪崎生 廖锐全 张公社

许明标 刘德华 管英柱 王长权

许冬进 李 亭 张 瑞

第二版前言

本书第一版自 2000 年出版至今已有 16 年,在此期间,我国石油高等教育事业取得了巨大的进步和发展,石油工程设计理论也取得较大进步。

基于精品课程建设、国家特色专业建设、品牌专业建设、专业综合改革、石油工程虚拟仿真实验教学中心建设、石油工程设计大赛等的需要,对本书内容进行了修订,内容如下:

(1)第一篇“油田开发设计与分析”第一章“油藏工程设计”油藏开发指标计算中,采用了新的预测精度更高的开发指标计算公式。

(2)第二篇“钻井工程设计”不仅增加了水力参数和注水泥设计理论,还增加了自行开发的钻井工程设计系统软件相关内容。

(3)第三篇“采油工程设计”第三章“连续气举设计”增加了注气方式的选择、环空流动气柱压力计算方法及环空温度确定方法、气举阀的启动过程,去掉了油压气举阀的设计方法而只进行套压气举阀的布阀设计,改进了布阀设计方法,给出了两种等压降气举设计方法;第四章“电潜泵采油系统设计”对电潜泵系统各部分进行了详细的介绍,改变了泵吸入口压力选择方法,去掉了井下油气分离器分气效率计算,以附件的形式给出了部分电动机的型号和部分泵的特性曲线;根据最新的行业标准,增加了第五章“注水工程设计”;第六章“水力压裂工程设计”增加了第三节“支撑剂在裂缝中的分布”及第六节“常用压裂设计软件”,第四节“水力压裂设计计算”增加了“根据施工规模预测增产能力”。

(4)删除了原有的油气集输工程设计。

(5)其他方面:①修改了错误及不合理的公式、符号;②更正了错误及不合理的计算和结果,细化了计算过程;③纠正了错别字符及不通顺的语句;④通篇统一了符号、单位及计算精度;⑤对全书结构层次重新进行了编排;⑥添加了部分图表,重新绘制了不清晰的图表。

初稿前期,熊青山组织相关人员对第一版的文字、公式及表进行了录入,重新绘制了部分不清晰的图件,修改排版后在学生中进行了多次试用与再修改。在此基础上,结合当前的教育改革形势,组织了相关老师进行了修订,其中第一篇由喻高明负责,第二篇由熊青山负责,第三篇由张光明、李军亮负责。修订稿初稿完成后,各篇老师间交叉进行初审,再次在学生中进行试用与修改。

本书由熊青山、张光明、喻高明担任主编,李军亮、江厚顺担任副主编。五人负责起草编写大纲,对相关内容、图表、格式等进行了处理并统稿,对经过初审的内容进行最终审查定稿。本书在编写过程中,长江大学石油工程学院院长刘德华教授给予了大力支持,李元凤等老师提出了宝贵意见和建议,在此表示诚挚地感谢!此外,非常规油气湖北省协同创新中心(长江大学)也给予了大力支持,在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中难免有不当和错误之处,诚请广大读者多提宝贵意见。

编著者

2016 年 8 月

第一版前言

高等工程教育的目标是为社会主义现代化建设培养能将科学技术直接转化为生产力的工程师。为达到这一培养目标,应使学生在校期间接受必要的工程师基本训练。为了增强石油工程专业学生的工程设计能力,我们在石油工程专业的改革与建设的研究中,把《石油工程设计》作为一门必修的课程列入了新的教学计划。

一、教学目的

一般认为,工程活动包括研究、开发、设计、制造(建造)、试验、管理、营销、工程咨询和工程教育培训等。其中,最基本的工程活动是设计、制造(建造)和营销(或工程管理),这三项工程活动构成了一个最简单的工程循环。在设计、建造和工程管理这三项工程活动中,工程设计是工程建造和管理的依据,它也是科学技术与工程活动联系的中介环节。

在石油工业中,石油工程跨越了石油天然气的勘探、开发及集输三个大的领域,如图 1 所示。

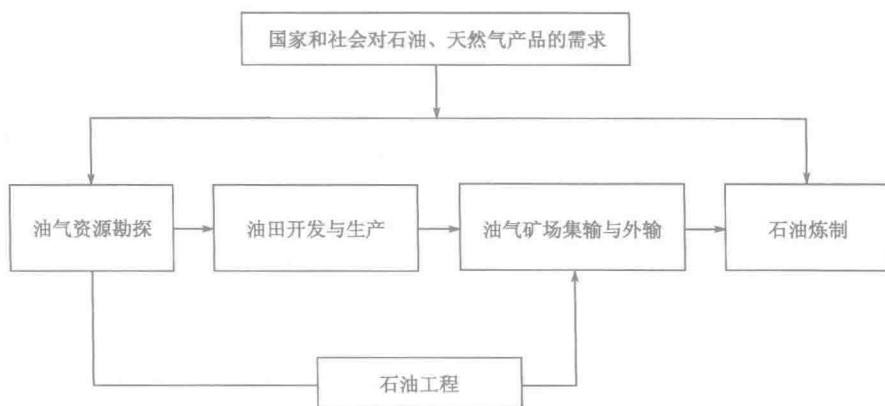


图 1 石油工程涉及的领域

在石油工程中,涉及不同层次的设计工作,这就是以一个油田或区块的方案设计和以一口井为对象的单井设计工作。这两个层次的设计工作都是石油工程专业的毕业生可能的工作范围。

“石油工程设计”是在学生学完石油工程的主干专业课程后进行的实践性教学环节,我们试图通过这种工程设计工作,使学生掌握石油工程设计的原理、方法、步骤和过程,学会综合运用已学知识去完成一项具体的石油工程设计,从而提高石油工程专业学生的工程意识和工程实践能力。

二、“石油工程设计”课程设计的原则

目前石油企业现场的石油工程设计可大致分成方案设计和单井工程设计两个层次。就一个油田的开发而言,不论油田(或区块)规模大小,对于一个新油田,有油藏工程设计(或称为油田开发方案设计)和采油工程方案设计;对于一个经历了一段时间的开发和开采后的老油田,有开发方案和采油工程方案的调整设计。这些都是从全油田整体的角度进行的工程设计。这

类方案都是以研究、设计与开发代替了以往常规的设计与开发。另一个层次的石油工程设计是以一口井为基本对象的钻井工程设计、各种采油方式的采油工程设计、地面工程设计、油层改造增产措施设计及井组动态分析。

作为加强石油工程专业学生工程实践能力的“石油工程设计”课程,应尽量接近和模仿实际的石油工程设计。课程设计中应遵循以下原则:

(1)具有综合性。由于“石油工程设计”是学生在学完主干专业课程之后进行的一门设计性课程,因此,每项设计的内容都应要求学生综合运用已学知识去完成该项设计。工程设计所涉及的知识范围既要包括专业知识的运用,也应包括所涉及的技术基础知识的应用;既要学生做出技术上先进、合理的设计,又要求这一设计的经济效益好;设计中不仅要求掌握工程设计的具体方法、步骤,还要求会利用计算机进行编程计算。此外,在设计中,既要求学生做出正确的工程设计计算,还要求会编写出合格的工程设计报告,并且在设计结束时,能用自己的语言,正确流利地进行口头技术汇报。这样,就能使学生的工程设计能力、计算机应用能力、表达能力、技术分辨能力和决策能力等得到培养和提高。

(2)具有实用性。尽管石油工程专业的学生在学习“石油工程设计”之前曾做过机械设计的课程设计,但在机械设计中学生所受到的工程训练的综合程度远没有石油工程设计全面。故可以认为,“石油工程设计”是学生在石油工程领域内的第一次“实战”演习。为了使石油工程设计具有实战的意义,在进行每项课题的设计时,第一,要求设计方法应是石油企业现场常使用的方法;第二,要求设计所用的基本资料取自现场;第三,设计时的组织形式也应该模仿现场工程师的工作方式——团队协作的工作方式。实施时也可以从现场收集实际的工程设计资料,由学生依原始资料做出设计后去比较自己所做的设计与现场设计的异同,并指出各自的优缺点,从中找到一个更为合理的设计来。这样做,就可以使学生体验到石油工程设计的真实性,还可以使同学在团队协作的工作方式中学会与他人协作,体验在团队协作中自己应承担的责任和义务增强学生的责任感和大局观念。

(3)具有一定的先进性。在进行“石油工程设计”的课程设计时要尽量考虑采用先进的设计方法,如现在石油工程设计中采用的优化设计理论、系统分析方法和油气多相管流相关式等。在课程设计时,要留有让学生发挥创造能力的余地。这样做,就可以使学生在熟悉常规设计方法的同时,学习和掌握较为先进的设计理论和方法,鼓励和培养学生的创新意识和创造能力。

(4)具有可扩展性和易操作性。由于“石油工程设计”课程所安排的时间只有4~6周,为了使学能经历较多的设计,一般要求他们在进行石油工程设计时要做3~5个独立的工程设计。这样,完成一个单项石油工程设计的时间只有1周左右。因此,在进行石油工程设计时,只有做以一口井(或井组)为对象的单项工程设计,而无时间进行以全油田为对象的油藏工程和采油工程方案设计。为了使学能在校期间进行较大规模的全油田(或区块)的方案设计,我们将这一层次的设计安排在学生的毕业设计中进行。同样受时间和校内研究条件的限制,不可能在毕业设计阶段完成一个完整的油藏工程和采油工程方案设计,故在学生的毕业设计阶段做采油工程方案设计时,把重点放在采油方式的优选和各种采油方式下的经济评价上,而油田开发方案设计则将重点放在不同井网下的油藏数值模拟和油田开发方案的调整及其经济评价上。这样安排,就要求各项工程设计的设计内容,短可以作为在1周内完成的单项工程设计,长可以扩充为在毕业设计期间完成的油藏工程或采油工程方案设计。

将石油工程设计的题目设计成可扩展式的设计,便于安排石油工程设计和毕业设计的设计内容,使设计内容随时间的变化经常有所不同。这样做也有利于设计资料的统一收集与整理,使得石油工程设计更具有可操作性。

应该承认,石油工程高等教育与建筑工程和水利工程等高等工程教育不完全一样,在那里对学生的工程设计能力的培养和训练已经过了较长时间的探索,但在石油工程高等教育中如何开展工程设计的教学,包括教学内容和方法,特别是在工程设计中如何培养学生的创新精神等,还有大量的工作要做,还需要我们不断地努力探索。

汪崎生 张光明

1999年9月

目 录

第一篇 油田开发设计与分析

第一章 油藏工程设计	1
第一节 油藏工程设计基本内容及方法	2
第二节 工程设计题	19
第二章 注水开发油田合理井距确定	21
第一节 井网密度选择	21
第二节 合理井距确定	22
第三节 工程设计题	29
第三章 井组动态分析	30
第一节 动态分析所需资料	30
第二节 井组动态分析内容和方法	31
第三节 井组动态分析实例	32

第二篇 钻井工程设计

第一章 钻井设计概述	38
第一节 钻井设计基本原则	38
第二节 钻井设计内容	40
第三节 钻井设计流程	41
第四节 钻井设计所需资料	41
第二章 钻井液设计	43
第一节 常用钻井液体系及应用	43
第二节 钻井液体系选择与性能设计	48
第三节 设计实例	51
第三章 钻柱与下部钻具组合设计	54
第一节 钻柱与下部钻具组合设计内容及所需资料	54
第二节 钻柱与下部钻具组合设计方法	55
第三节 设计实例	65
第四节 工程设计题	77

第四章 钻井参数设计 79

第一节 水力参数设计 79

第二节 水力参数设计实例 87

第三节 机械破岩参数设计 93

第五章 固井工程设计 97

第一节 套管柱强度设计 97

第二节 套管柱强度设计实例..... 109

第三节 注水泥工艺设计..... 115

第四节 注水泥工艺设计实例..... 124

第三篇 采油工程设计

第一章 采油工程设计概述..... 138

第一节 采油工程设计方法..... 138

第二节 基础资料和设计内容..... 140

第三节 各种人工举升方式对比..... 143

第二章 有杆抽油系统工程设计..... 147

第一节 设计所需资料、内容和原则 147

第二节 设计计算步骤..... 149

第三节 相关计算..... 150

第四节 工程设计题..... 169

第三章 连续气举采油设计..... 170

第一节 概述..... 170

第二节 井筒压力和温度的计算..... 174

第三节 气举启动与气举阀..... 176

第四节 等压降连续气举设计..... 180

第五节 工程设计题..... 183

第四章 电潜泵采油系统设计..... 184

第一节 电潜泵采油系统概述..... 184

第二节 电潜泵采油系统设计基础..... 188

第三节 电潜泵采油系统设计方法..... 191

第四节 工程设计题..... 193

第五章 注水工程设计	194
第一节 概述	194
第二节 资料收集	196
第三节 设计内容	196
第四节 工程设计题	210
第六章 水力压裂工程设计	238
第一节 设计准备工作	238
第二节 裂缝模型	241
第三节 支撑剂在裂缝中的分布	247
第四节 水力压裂设计计算	249
第五节 经济评价	252
第六节 常用压裂设计软件	254
第七节 工程设计习题	259
第七章 砂岩地层基质酸化设计	261
第一节 概述	261
第二节 设计准备工作	261
第三节 设计计算	262
第四节 酸化施工	275
第五节 经济评价	276
第六节 工程设计题	277
附录	279
附录一 钻井工程设计软件使用说明	279
附录二 常用潜油电动机主要技术参数	302
附录三 潜油电泵特征曲线	309
参考文献	315

第一篇 油田开发设计与分析

有科学依据地实现从地层开采所含烃类及伴生有用矿物的过程被称为油田开发。具体说就是依据详探成果和必要的生产性开发试验,在综合研究的基础上对具有商业价值的油田,从油田的实际情况和生产规律出发,制订出合理的开发方案并对油田进行建设和投产,使油田按预定的生产能力和经济效益长期生产,直至开发结束。油田开发具有整体性、连续性、长期性的特点。一个油田从发现、投入开发到采出全部可采储量,需要几十年甚至上百年的时间。油田开发始于油田发现,终于油田报废。

从认识规律和工作程序看,油田开发设计可以分为三个方面的工作:深刻认识油层及其中流体的特性;制订出适合本油田的开发设计方案;在开发过程中对油层动态进行分析和预测(加深对油藏的认识,做好油田开发方案调整工作)。

20 世纪初,有科学依据地选择开发系统和开发工艺的油田开发理论还没有形成,油田开发都是在天然能量驱动条件下进行开发,那时油田开发的主要工作就是钻井和采油。甚至在 20 世纪 40 年代初的美国,像井距(井网密度)这样极为重要的参数不是根据研究、分析的资料和油田开发基本理论确定,而是根据油井产量定额的人为方式确定,更谈不上对油田开发过程进行动态监测、分析与开发调整。本篇内容,将根据油田开发的规律及工作程序,分别就油藏工程设计、注水开发油田合理井距确定及注采井组动态分析进行介绍。

第一章 油藏工程设计

所谓油藏工程设计,就是在油藏评价结果或油藏地质模型(地质认识)的基础上,根据油藏地质特点,设计出与油藏地质相适应的油田开发重大技术对策。

油藏工程设计的内容包括对开发方式、开发层系、开发井网、开发速度等进行充分的论证与设计,对开发指标进行预测与分析,以及油藏开发部署等。油藏工程设计是一个油田优化开采必不可少的工程研究内容,也是油藏工程师的重要工作职责之一。

油田开发方案是指在详探和生产试验的基础上,经过充分的研究后,使油田投入正式生产的一个总体部署和设计。石油天然气是有限的、不可再生的资源,又是社会生产发展的重要能源,从而决定了油田开发的两大基本原则:一是获得最佳的经济效益,以满足社会与市场需求;二是追求较高的采收率,以达到合理开发资源的目的。根据油田实际及市场需求,油田开发一般遵循以下原则:

(1)贯彻执行国家的有关政策、法令,遵循国家、地方、行业的产业政策、环保政策,以及符合经济发展规划的要求;

- (2)依据地下客观实际,合理开发;
- (3)充分考虑油田的地质特点;
- (4)充分利用油气资源,保证油田有较高的采收率;
- (5)确定合理的采油速度,做到高效开发;
- (6)合理利用天然能量,适时人工补充能量,达到合理开发的要求;
- (7)充分吸收类似油田的开发经验;
- (8)确保油田开发有较好的经济效益。

根据 SY/T 10011—2006《油田总体开发方案编制指南》,结合目前现场使用基本方法,油藏工程设计内容主要包括:开发方式选择、开发层系的划分、合理井网密度计算、方案设计及效果预测、经济指标评价等内容。

第一节 油藏工程设计基本内容及方法

一、油藏描述

油藏描述是对油藏地质现象加以细致全面地描述,并从中做出正确的“成因—结果”解释,在此基础上对下一勘探开发阶段部署决策的油藏特征做出一定的预测。在油藏描述的基础上建立油藏的地质模型。油藏描述的主要内容包括以下几个方面。

1. 油藏地质特征

1) 油藏构造特征

- (1)构造类型、构造形态、闭合面积、闭合高度及圈闭纵向叠合情况;
- (2)断层的性质、分布及组合特点,对油气的封隔作用,以及断块单元的划分。

2) 油藏沉积特征

- (1)岩性、岩石名称、矿物组成、胶结物类型、胶结程度;
- (2)岩石结构;
- (3)厚度及产状、层段、层状;
- (4)分布:连续性、稳定性;
- (5)沉积相分析、单井及平面划分依据;
- (6)黏土含量和黏土矿物组分;
- (7)成岩后生作用;
- (8)砂体分布。

3) 储层岩石物性特征

- (1)岩石矿物;
- (2)储层岩石粒度;
- (3)黏土矿物含量;
- (4)岩石物性(岩石孔隙度、渗透率等)。

4) 储层非均质性

储层非均质性是指油气储层各种属性(岩性、物性、含油性、电性)在三维空间上分布的不

均匀性。通常用三个参数表征储层渗透率的非均质程度：储层渗透率突进系数（均质系数）、储层渗透率变异系数、储层渗透率级差。

(1) 储层渗透率突进系数。

储层渗透率突进系数是指砂层中最大渗透率与砂层平均渗透率的比值，即：

$$T_K = \frac{K_{\max}}{\bar{K}} \quad (1-1-1)$$

式中 T_K ——渗透率突进系数；

$K_{\max}$ ——层内最大渗透率，mD；

$\bar{K}$ ——层内所有样品渗透率的平均值，mD。

对一般储层，当 $T_K < 2$ 时，为均匀型；当 $2 \leq T_K \leq 3$ 时，为较均匀型；当 $T_K > 3$ 时，为不均匀型。

(2) 储层渗透率变异系数。

储层渗透率变异系数是描述油藏宏观非均质性的一个重要参数。目前计算储层渗透率变异系数有三种方法：统计学方法、Dykstra-Parsons 方法和 Lorenz 系数法。

① 统计学方法。

应用统计学方法，渗透率变异系数的计算公式为：

$$V_K = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (K_i - \bar{K})^2 / n}}{\bar{K}} \quad (1-1-2)$$

其中

$$\bar{K} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}$$

式中 V_K ——渗透率变异系数；

K_i ——层内某样品的渗透率值，mD；

n ——层内样品个数。

一般地，当 $V_K < 0.5$ 时，表示储层为均匀型，非均质性弱；当 $0.5 < V_K < 0.7$ 时，表示储层为较均匀型，非均质性中等；当 $V_K > 0.7$ 时，表示储层为不均匀型，非均质性强。

② Dykstra-Parsons 方法。

Dykstra 和 Parsons 于 1950 年引入渗透率变异系数概念，它是一组非一致的统计度量数据，一般用于描述渗透率属性，但也可延伸到处处理其他岩石物性。确定渗透率变异系数的步骤如下：

- 按渗透率递减即下降顺序排列岩石样品。
- 对每一样品，计算渗透率大于这一样品的厚度百分比。
- 在对数概率图纸上，将渗透率作为对数轴，厚度百分比作为概率轴，做出点图。
- 通过这些点画一条最佳直线。
- 读取厚度的比例为 84.1% 和 50% 时对应的渗透率值，记为 $K_{84.1}$ 和 K_{50} 。
- 根据下式计算出渗透率变异系数：

$$V_K = \frac{K_{50} - K_{84.1}}{K_{50}} \quad (1-1-3)$$

式中 K_{50} ——岩石样品数量累积频率等于 50% 时对应的渗透率值，mD；

$K_{84.1}$ ——岩石样品数量累积频率等于 84.1% 时对应的渗透率值, mD。

③Lorenz 系数法。

基于 Lorenz 曲线的基尼系数是意大利经济学家 1922 年提出的定量测定收入分配差异程度的指标。Lorenz 曲线是国际上公认可以用来描述社会某种收入分配差异程度的一种比较直观的方法。Schmalz 和 Rahme 于 1950 年将其引入成为一个描述储层非均质性的参数, 称为 Lorenz 系数, 其取值介于完全均质系统的 0 和完全非均质系统的 1 之间, Lorenz 系数的计算步骤如下:

a. 将所有可能得到的渗透率值以递减顺序排列。

b. 计算累积地层系数 $\sum Kh$ (渗透率 K 与有效地层厚度 h 的乘积之和) 和 $\sum \phi h$ (孔隙度 ϕ 与有效地层厚度 h 的乘积之和)。

c. 将这 2 个累积参数进行标准化, 使其值介于 0~1 之间。

d. 将标准化的 $\sum Kh$ 和标准化的 $\sum \phi h$ 画在笛卡儿坐标系上。

e. Lorenz 系数 L 的计算公式为:

$$L = \frac{S_{ABC}}{S_{ACD}} \quad (1-1-4)$$

式中 S_{ABC} ——曲面三角形 ABC 的面积;

S_{ACD} ——三角形 ACD 的面积, 取值为 0.5。

图 1-1-1 表示的是油层流动能力的分布。完全均质系统的渗透率各处完全相等, 因此标准化的 $\sum Kh$ 和标准化的 $\sum \phi h$ 在图中为一直线。图 1-1-1 表明随渗透率的高低值差别的增大, 图像向左上角显示更大的凹度, 这说明非均质性更强。也就是说, 偏离直线的严重程度是非均质性的量度, 由此可通过计算 Lorenz 系数定量描述储层的非均质性。为了使计算简便, 更为常用的是将渗透率从大到小排队成一序列, 根据岩石样品数量累积频率和渗透率累积频率绘制成 Lorenz 曲线进行计算。该方法优点是适合于任何渗透率分布类型, 又使计算的 V_K 值在 0~1 之间。

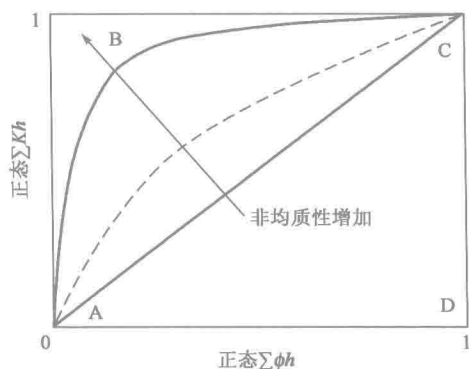


图 1-1-1 油层流动能力分布

渗透率变异系数和 Lorenz 系数之间的关系, 在数学上可用下式来表示:

$$V_K = -5.05971 \times 10^{-4} + 1.747525L - 1.468847L^2 + 0.701023L^3$$

(3) 储层渗透率级差。

储层渗透率级差是指砂层中最大渗透率与最小渗透率的比值, 即:

$$J_K = \frac{K_{\max}}{K_{\min}} \quad (1-1-5)$$

式中 J_K ——渗透率级差;

$K_{\max}$ ——层内最大渗透率, mD;

$K_{\min}$ ——层内最小渗透率值, mD。

由式(1-1-5)可知, J_K 值越接近 1.0 的储层均质程度越高。

5) 储层敏感性

储层敏感性是指储层某种伤害的发生对外界诱发条件的敏感程度, 主要包括速敏、水敏、

酸敏、盐敏和碱敏等。储层敏感性评价主要通过流动实验来实现。

2. 储层流体性质及分布特征

(1) 油气水关系, 包括是否存在边、底水, 有无隔夹层、气顶, 油水或气水界面深度及产状等。

(2) 含油、气、水饱和度。

(3) 流体常规物性:

① 地面脱气原油的密度、黏度、凝点、含蜡和含硫情况等;

② 天然气相对密度及其组分;

③ 地层水密度、矿化度、pH 值。

(4) 流体高压物性参数, 包括原油高压物性(原始气油比、溶解系数、饱和压力、压缩系数、体积系数、油层条件下原油密度和黏度、气水比等物性及曲线), 以及类似的地层水高压物性和天然气高压物性。

(5) 储层渗流物理性质:

① 岩石的表面润湿性;

② 相对渗透率曲线;

③ 毛管压力曲线。

3. 温度、压力系统

(1) 油藏压力、压力系统、压力梯度;

(2) 油藏温度、地温梯度;

(3) 井间、油藏内部、层间连通性情况;

(4) 油藏压力系统划分。

4. 天然能量

油藏天然能量主要包括: 油藏中流体和岩石的弹性能、溶解于原油中的天然气膨胀能、边水和底水的压能和弹性能、气顶气的膨胀能、重力能等。

描述油藏天然能量, 正确认识和判断油藏驱动类型, 就是要充分利用天然能量, 及时补充人工能量, 以便更好地开发油田。

5. 油藏类型

根据描述的油藏地质特征, 确定油藏类型。油藏类型的划分方法可以是多种多样的, 主要取决于划分时所依据的油藏参数。可以从圈闭类型、储层特征、流体性质、驱动能量及分布等方面描述和确定油藏类型。

二、储量计算

1. 储量的分类

根据计算储量所采用资料的来源不同, 储量分为静态地质储量和动态地质储量。静态地质储量是采用静态地质参数计算而得的储量数值, 一般有类比法和容积法, 是油藏早期评价的参数。动态地质储量是采用油藏生产动态资料计算而得的储量数值, 一般有物质平衡法、产量递减法、压降法等, 多用作开发过程中油藏评价的参数。

2. 原油储量计算方法

1) 容积法

根据地下储层的含油体积来计算原油储量(目前我国采用地面原油的质量来表示原油地质储量),其计算公式为:

$$N = \frac{100Ah\phi(1-S_{wc})\rho_{os}}{B_{oi}} \quad (1-1-6)$$

式中 N ——原油地质储量, 10^4 t;

A ——含油面积, km^2 ;

h ——油层有效厚度, m;

ϕ ——油层有效孔隙度, %;

S_{wc} ——油藏束缚水饱和度, %;

ρ_{os} ——地面脱气原油密度, t/m^3 ;

B_{oi} ——原始条件下的地层原油体积系数, m^3/m^3 。

2) 物质平衡法

从储量层中采出液体和气体的过程中,由于油、气、水的体积和地层压力改变,它们在油层中的分布状况也不断发生变化,物质平衡法研究就是在此基础上根据物质平衡方程计算原油储量。其计算公式为:

$$N = \frac{N_p[B_o + (R_p - R_s)B_g] - W_e - (W_{inj} - W_p)B_w - G_{inj}B_{ig}}{(B_o - B_{oi}) + (R_{si} - R_s)B_g + m\frac{B_{oi}}{B_{gi}}(B_g - B_{gi}) + (1 + m)B_{oi}\left(\frac{C_w S_{wi} + C_f}{1 - S_{wi}}\right)\Delta p} G \Delta p \quad (1-1-7)$$

式中 N_p ——累积产油量, 10^4 t;

W_e ——累积水侵量, 10^4 t;

W_{inj} ——累积注水量, 10^4 t;

W_p ——累积采水量, 10^4 t;

G_{inj} ——累积注气量, 10^4 t;

m ——在地层条件下,油藏原始气顶含气孔隙体积与油藏原始含油孔隙体积之比, m^3/m^3 ;

R_{si} ——原始条件下溶解气油比, m^3/m^3 ;

R_s ——某地层条件下溶解气油比, m^3/m^3 ;

B_{ig} ——压力 p 下注入气体的体积系数, m^3/m^3 ;

R_p ——累积生产气油比, m^3/m^3 ;

B_{gi} ——原始条件下气体体积系数, m^3/m^3 ;

B_{oi} ——原始条件下原油体积系数, m^3/m^3 ;

B_g ——气体体积系数, m^3/m^3 ;

B_o ——地层原油体积系数, m^3/m^3 ;

B_w ——地层水体积系数, m^3/m^3 ;

C_w ——地层水的压缩系数, MPa^{-1} ;

C_f ——岩石压缩系数, MPa^{-1} ;