

国外油气勘探开发新进展丛书 (二)
GUOWAI YOUQI KANTAN KAIFA XIN JINZHAN CONGSHU

The Practice of Reservoir Engineering

油藏工程实践

(修订版)

The Practice of Reservoir Engineering

石油工业出版社

[英] L.P. 达克 著
阎建华 等译

国外油气勘探开发新进展丛书(二)

油 藏 工 程 实 践

(修订版)

[英] L.P. 达克 著

阎建华 等译

石油工业出版社

内 容 提 要

本书包含了作者多年积累的经验和理论,着重论述了对一个油藏未来动态的预测。内容涉及油藏工程基础理论、油气田评价、物质平衡方程的应用、油井试井、水驱开发、气藏工程等方面。特别解释了油藏工程学科中容易出错的问题及原因,并为读者提供了解决问题的方法。

本书可供油气田开发工程的决策者、研究人员参考,也可作为油藏工程师培训及相关院校的专业教材。

图书在版编目(CIP)数据

油藏工程实践/[英]L. P. 达克(L. P. Dake)著;阎建华等译. —修订本.
北京:石油工业出版社,2003. 5

(国外油气勘探开发新进展丛书;2)

书名原文:The Practice of Reservoir Engineering (Revised Edition)

ISBN 7-5021-4217-7

I. 油…

II. ①达…②阎…

III. 油田开发

IV. TE34

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 022367 号

©2001 Elsevier Science B. V.

All Rights Reserved. Authorised translation from the
English language edition published by Elsevier Science

石油工业出版社出版
(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)
北京乘设伟业科技排版中心排版
石油工业出版社印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 25.75 印张 651 千字 印 1—1000

2003 年 5 月北京第 1 版 2003 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-4217-7/TE·2966

定价: 96.00 元

《国外油气勘探开发新进展丛书》(二)

编 委 会

主 任：刘宝和

副 主 任：冉新权 张卫国

编 委：张正卿 刘德来 李 阳 沈 琛

何江川 阎建华 周家尧 张仲宏

李 斌 咸月瑛 汪大锐 钟太贤

序

为了跟踪国外油气勘探开发的新理论、新技术、新工艺,提高中油股份公司油气勘探开发的理论和技术水平,提高整体经济效益,中油股份公司勘探与生产分公司有计划地组织有关专家对国外油气勘探开发及生产方面的新技术、新理论、新成果进行调研引进、吸收,并翻译出版,推荐给油田广大技术人员及管理干部,以期能达到促进生产、更新知识、提高业务水平及技术水平的目的。第一批引进的5本专著出版后,产生了较好的社会效益,得到了广大读者的高度关注和认可,普遍认为翻译质量高,出版质量好,内容满足实际需要。

为了进一步搞好股份公司石油勘探开发的科技发展事业,促进石油工业发展,我们在第一辑出版的基础上,经过多次调研、筛选,又推选出国外最新出版的5本专著,即《油藏评价一体化研究》、《油藏地层伤害——基础理论、模拟、评价和解除》、《油藏工程实践》、《异常高压气藏》、《酸气开发设计指南》,以期追踪国外油气田勘探开发的热点问题和切合我国油气田开发实际需要的实用技术。

在全套丛书的引进、翻译出版过程中,勘探与生产分公司和石油工业出版社组织了一批著名专家、教授和有丰富实践经验的油田工程技术人员担任该书的翻译和审校人,并使本套丛书得以高质高效地出版。希望各油田及科研院校从事于勘探、开发工作的管理人员、技术人员以及研究人员读读这套丛书,同时在实践中应用之,这将会对今后的工作起到一定的指导和推动作用,为搞好油田勘探开发,实施低成本战略,创造更大效益做出贡献。

中国石油天然气股份有限公司副总裁



译者前言

本书是国际著名石油工程专家 L. P. 达克的最后一本专著,书中凝聚着作者多年积累的宝贵资料和理论进展。L. P. 达克先生对石油工业的贡献体现在他 35 年的石油工程工作生涯之中,也体现在他的著作的字里行间。通过阅读本书,读者可以感受到他那富有想象力和创造力的视野,以及他漠视惯例、尊重事实的求真精神。

本书是修订版,第一版于 1994 年出版。全书共分为六章,内容涉及油藏工程基础理论、油气田评价、物质平衡方程的应用、油井试井、水驱开发、气藏工程等方面。特别解释了油藏工程学科中容易出错的问题及原因,并为读者提供了解决问题的方法。他在感受计算机技术进步对石油工业的促进作用的同时,也感到了一丝忧虑。即,现在有很多油藏工程师只注重计算机的数据输入和输出,过分依赖油藏模拟软件,而忽视了油藏本身的真正特性,从而得出了许多荒谬的结果和论点。在这一方面,作者列举了大量的典型实例,并逐一分析了错误的来源,同时给出了正确的结论。在本书的全部内容中,作者一直突出这样一个观点:石油工程师最根本的目的不仅仅是了解某个油田或气田,而且还是预测一个油藏的未来动态。

全书由阎建华组织翻译,其中:序、前言、目录、术语由阎建华、杨志平翻译,第一章、第二章和第三章由阎建华、廉树明翻译,第四章由崔迪生、王永根、王吉朋、赵焕欣翻译,第五章由孙国勇、潘有利翻译,第六章由马兢、王增进翻译。全书由阎建华统一校对。在出版过程中,石油大学廖新维、冷芝等同志对部分章节进行了审核,在此表示感谢!

由于译者水平有限,翻译过程中难免有纰漏和错误,恳请读者批评指正。

译者

2003 年 3 月

石油工业出版社

修订版序

本书修订版对小部分内容做了修改,为了更透彻地理解某些物理解释,对第四章做了一定的修订。

对第 5.9 节“水驱特征研究”做了重要修改,并详细示范了两个油田采用新方法的实例。对所有设计要素,如:注入压力、原油产量以及采收率预测都做了详细解释,并用(一个在英国北海、另一个在美国东德克萨斯)两个油田实例做了进一步说明。

劳里·达克(Laurie Dake)在第 5.9 节介绍的原理表明,通过引入无量纲的贝克莱—列维尔特(Buckley—Leverett)理论是理解油藏分流量技术的关键,因此这就是水驱油藏物质平衡的最简明的阐述。

本书凝聚着作者劳里·达克(Laurie Dake)多年积累的一些基本资料和理论发展。石油工程师将会发现最根本的目的不仅仅是了解某个气田或油田,而是预测一个油藏的未来动态。这种思想表明,最宝贵的传统之一就是那种献身于石油科学和石油工程发展的精神。

T.D. 范·戈尔夫·雷特博士

特隆赫姆大学石油系教授

前言

《油藏工程实践》是为石油工业有关专业人员而撰写的,因为他们需要掌握油藏工程这一复杂知识并用于油田实践。本书对如何开展工作进行了简明阐述,非常适合于勤劳的油藏/采油工程师,并结合实际油田的开发情况,用 27 个实例和练习做了进一步说明。而且对以烃类开采为中心工作的有关专业也是有用的,这些人员包括地质学家、岩石物理学家和油气田管理人员。

油藏工程之所以属于复杂学科主要有两个原因。其一,我们从未充分见过我们试图描述的油藏。因此对油藏进行物理学定义是困难的,所以选择正确的数学理论阐述任何确定程度的物理学定义。其二,即使选定了适宜的数学模型,但决不会有足够的方程来求解数学模型所包含的未知数。第二个问题涉及整个学科范围,从物质平衡方程应用到试井解释,因而描述的油藏必然缺乏唯一性。既然已知这些基本局限性,那么适于这一学科的唯一方法就是简化处理,这也是本书的主题。实际上,Occam Razor 的基本科学原则使油藏工程应用范围比大多数物理科学更加广泛,即如果有两种方法适用于物理现象,那么越简单的就越适用。

第一章,“油藏工程简介”既是对本学科的叙述也是对本书主题的阐述。令人深受启发的是去阅读石油工业美好的历史,即由 Daniel Yergin 撰写,Simon 和 Schuster 于 1991 年发表的“奖励”专著(对石油、金钱和力量的追求)。令人惊奇的是,在这 880 页的专题论文中没有出现“油藏”这一词,因而也就没有提到“油藏工程”,从业者将欣赏的是整个工业最重要的科目。因此,第一章通过阐明油藏工程的含义来补偿平衡这些缺陷,这包括对工程师主要活动和作用的叙述,尤其是海上油田开发,这个主题通常在文献中没有完全重视;这一章中还包括油藏工程的历史和未来;章节结尾叙述了物理学应用所涉及的基本物理原理。

第二章,“油气田评价”重点放在油气田开发的评价阶段,特别研究了海上油气田开发有关项目。所涉及的主题包括:特别强调样品采集和实验室数据修正与油田实际条件拟合的 PVT 流体特性,以及烃储量和产权争议问题的确定。本章总结叙述了压力与深度关系式,尤其是 RFT 解释、中途测试(DST)目的和实践以及延长试井(EWT)设计。本章是以介绍实际油田评价的形式来撰写的,包含评价活动遵守的所有规则。

第三章,“物质平衡方程在油田的应用”叙述了受各种不同驱替机理影响的物质平衡方程在油田的应用。就作者的观点而论,这一学科最近几年几乎被废弃,它被认为更有效的数值模拟技术所替代。但是这是不可抗拒的事实,由于物质平衡是对油藏工程的基础物理学的阐述,它不仅能解释油藏特性机理而且也是流体驱替机理(Buckley - Leverett)的基本原理。本章指出物质平衡方程和数值模拟不是描述油田动态的竞争方式,相反是完全相互支持的。前者是历史拟合油藏动态的理想工具,而建立模拟模型是为了预测的目的。这样就忽视了物质平衡方程,而且年轻的工程师在其应用上既没有经验也没有信心。为了克服这一问题,本章包含了 6 个实际油田开发中物质平衡方程应用的实例。

第四章,“试井”主要用于目标测试,以及评价井和开发井试井的实践和解释。自从 20 世

纪 80 年代初期开始,这一学科就被试图解决反演问题的思想所支配:用数学定义油藏物理状态。除物理学尖端发展外,在实际物理/工程学科中这是一种非常规的方法,比应用曲线拟合法的数量还少些,其原因是结果严重缺乏唯一性。本章试图说服工程师,试井解释唯一合理的方法是首先在广泛观察所有有关油藏/机理数据后定义油藏物理状态,然后用合适的数学模型(如果存在的话)分析试井结果。这是种相当困难的方法,但是要牢牢记住试井解释对油田开发决策的重要性,这是项强制性的要求。

在检验试井历史时,作者对早期时间的解释内容做了修改,并对支配本学科的假设进行简化。考虑到数学的简化,最普遍的是瞬时假设(无限边界特性),这在本学科中占有长期的优势并在许多现代教科书和测井解释计算机软件中仍占有一定的地位。根据 15 种情况将这一假设删除,通过对本学科常规的描述使工程师用完全不同的观点看待试井解释;在某些方面这是最受限制的,而在其他方面这是最随意的,但总是比较现实的。

尽管到 80 年代双对数曲线图才开始使用,但目前压力恢复的解释最流行的方法仍然是霍纳(Horner)半对数曲线图法(1951 年)。因而,整个学科最为广泛的误差取决于其解释:直线段位于什么位置,其含义是什么?为了克服这一难题,作者发展了米勒(Miller)、戴斯(Dyes)和哈奇森(Hutchinson)(MDH, 1950)压力恢复分析技术更简化方式的应用,并表明能够拟合霍纳(Horner)分析所做的任何解释——解释内容更多一些,误差更小。在技术应用方面,或许我们在长期的压力恢复测试中浪费的时间和财力太多,所有一切有可能只需要几小时的关井时间。提出用检验霍纳(Horner)曲线和 MDH 时间导数曲线结合,这是确定半对数压力恢复曲线直线段的最保险的方法。

第五章,“水驱”叙述了二次采油技术最广泛的形式:工程水驱。其中一些内容涉及北海油田开发,其中绝大多数油田都是在这种条件下开采的。这并不是盲目的,因为北海油田已经建立了最大的水驱研究试验室,对这个问题存在着争论。

本章开始叙述了水驱的实用性,并专门强调与地面设施能力的匹配,以使液体注入/生产适合于油藏动态。然后对水驱(Buckley - Leverett)基本理论及其有关内容做了详细的论述,包括相对渗透率 and 水的分流量的概念。有争议的地方是前者本身没有什么关联,而分流关系式在本章受重视。实际上,撰写本章的主要目的是重新评价分流量的重要性,如物质平衡方程,实际上最近几年在油藏工程中没有出现,其简单的原因是这一概念从未(或仅仅最近)编入数值模拟模型中,因此它一直停滞到现在。本章还叙述了数据要求和解释、非均质油藏层间的垂向波及效率计算,所有这些都使用了韦氏(Welge)计算中的假分流量函数。本章结尾考虑了难度较大的水驱油田动态历史拟合和预测方法,考虑到其复杂性,对数值模拟方法的应用是一个挑战。

第六章“气藏工程”,包括气藏工程的三个方面:物质平衡方程、非混相气驱和反凝析气藏干气回注。在油藏工程中气体物质平衡方程可能是最简单的专题, p/Z 值曲线的普遍运用导致了某些气藏储量估算值的严重误差,作者列举的最坏实例误差超过 107%。当然我们可以做得更好——的确是可以做到的。因而建议采用更合理和更有效的物质平衡方程结合 p/Z 值曲线的方法。

非混相气—油驱替的流度比是极为不利的,会使整个过程极为不稳定,除非气体分流量中的重力占支配作用。这一章节集中叙述了适合于气驱稳定性的气藏特性,并列举了气驱效率

计算的一个实例。

考虑到干气回注,文献中的大部分分析重点放在组分影响上,忽略造成过程基本不稳定的因素。本章还叙述了非均质性和重力对回注效率的影响,并用实例对此进行了阐述。

致谢:我要感谢那些在撰写本书时给予我帮助的人们。首先,感谢与我一起工作过或参加过我的油藏工程课程的所有工程师。尤其感谢 Scottish 公司(前 Scottish 发展代理处)的大力支持,感谢伦敦石油企业大力协助。同时还感谢伦敦的能源部(现在的贸易工业部)的工作人员,也感谢丹麦能源哥本哈根代理处的全体成员。我还特别感谢我的同事巴黎的 T.D. 范·戈尔夫·雷特(T. D. van Golf Racht)教授和他提出的建议。

作者

本章主要

本章主要

本章主要

本章主要

纪念 Laurence P. Dake

在油藏和石油工程师队伍中,必然以报答的方式提到劳里“Laurie”(正式全称 Laurence Patrick Dake)的观点,即他接受或反对的观点或过程。今天,在本书的开头,我理解他的任何朋友第一次谈到纪念 Laurie 时感到如此困难和悲伤。唯一的办法就是记住 Laurie 的生平和他对我们油藏工程行业的贡献,发扬光大他的创造精神。

我记得 1985 年在我的 Norsk Hydro Oslo 办公室不眠冬夜的难忘谈话,劳里(Laurie)阐明了油藏工程的关键目标:转变观念的能力,对油田未来预测的相关想像给我们有价值的见识,可增进对现在相同油田的了解,以便在确定油藏未来动态时不再用一大串“如果”、“但是”和那些没把握的“大概”进行阐述。

在这期间 Laurie 开始使用这个方法为撰写本书《油藏工程实践》打基础。

Laurene Dake 于 1941 年 3 月 11 日出生在马恩岛,在金威列姆斯(King Williams)学院就读,1964 年毕业于格拉斯哥(Glasgow)大学自然哲学系。

他 1964 年在壳牌公司就职,在壳牌国际公司担任石油工程师。然后,在海牙的壳牌公司培训中心从事整体培训计划,他作为石油工程师参加过澳大利亚、文莱和土耳其等地各种油田作业工作,直到 1971 年又被聘到海牙的壳牌公司培训中心。从 1971 年到 1978 年,他为壳牌公司毕业生教了 7 年油藏工程专业课。

1978 年,Laurene Dake 离开工作了 14 年的壳牌公司。14 年中,他有两个重要转折决定了他将来的专业生涯:

(1)参加了新成立的国家石油公司 BNOC(英国国家石油公司),担任油藏工程总工程师。他参加过北海大型油藏的发现、开发和解释工作。他在英国海上工业早期的贡献是卓越的,以致在 1987 年因为为英国工业提供油藏工程服务而获得了大英帝国勋章。在那期间,他的出色工作不仅使个人受到嘉奖,而且是对石油与天然气工业影响极大的油藏工程专业的嘉奖。

(2)1978 年,Laurene Dake 与 Elsevier 一起出版了第一本有关油藏工程的书籍《油藏工程基础》。在工作中,他根据精确物理学和应用科学之间的综合理论,提出了任何油田作业所必需的现代油藏工程理论。本书之所以在石油界如此成功是因为:

- 对石油工程师将简单的程序运用于烃类油藏复杂问题中具有其实用性;

- 作为学生基础教科书,对几乎每个大学将油藏学科、科学基础与大量油田实际应用和实例相结合具有其实用性。

1982 年,Laurie 离开了 BNOC(英国国家石油公司),在爱丁堡开始成为独立的咨询顾问,他的主要活动如下:

- 在与中介和大公司的“直接咨询活动”中,Laurie 在 1982 年和 1994 年期间对世界范围 150 多个油气田评价和开发做出了重要贡献。他成为最令人欣赏的国际石油咨询顾问,他为一些大石油公司(BP, Agip, Norsk, Hydro, Statoil 等)和银行(苏格兰银行、爱丁堡银行、西珀斯银行、澳大利亚银行等)提供过咨询。

● 他与 Heriot - Watt 大学石油系进行重要协作,开始(1978 年)担任对外主考官,后来成为“名誉教授”。

● 他撰写的第二本书“油藏工程实践”1994 年由 Elsevier 出版。除油田许多作业概念外,本书包括 Laurie 开发的特殊程序和分析方法,在他所研究的各种油田中证明是成功的。

在这些特殊活动中,他通过论著和教材,以及为《财经世界》和石油公司提供的咨询服务和建议,对整个石油工程系统具有真正的帮助。Laurie Dake 于 1999 年 7 月 19 日逝世,给我们留下了巨大的悲痛。所有赞赏他、钦佩他的工作精神和爱戴他的人,都为这突然的噩耗感到极大的悲哀。

但是,如果我们回过头来看看 Laurie 为我们开阔的视野,便知道有一个已被采纳的视野——可见而无疑的、富有想像力和创造性的视野,因此我们改变我们的观点。我们掌握了创造性视野定义精神与物质之间的界限,就开始了解 Laurie Dake 所起的作用——他漠视了惯例、程式并竭力抓注油藏特性的真正含义。

他用智慧将创造意愿与创造学识和可能性程度相结合,扩大了已开阔的视野,所有这些我们都可以通过他推荐的方法找到答案。

正是 Laurie 给我们留下了辉煌的传统,开阔了我们的视野……

T.D. 范·戈尔夫·雷特博士
特隆赫姆大学石油系教授

版 权 声 明

本书英文书名为“The Practice of Reservoir Engineering (Revised Edition)”

本书经由国际出版商 Elsevier Science 授权翻译出版,中文简体版权归石油工业出版社所有,侵权必究。

术语符号

- A ——面积, ft^2 ;
 B_g ——天然气体积系数, rcf/scf ;
 B_o ——原油体积系数, rb/stb ;
 B_w ——地层水体积系数, rb/stb ;
 C ——等温压缩系数, psi^{-1} ;
 C_f ——孔隙压缩系数, psi^{-1} ;
 C_o ——原油压缩系数, psi^{-1} ;
 C_w ——地层水压缩系数, psi^{-1} ;
 C_A ——迪茨形状系数, 无量纲;
 C'_A ——拉森形状系数, 无量纲;
 D ——垂直深度, ft ;
 E ——气体膨胀系数, scf/rcf ;
 E_{fw} ——物质平衡方程中束缚水膨胀和孔隙压实的项, rb/stb ;
 E_g ——物质平衡方程中气顶膨胀的项, rb/stb ;
 E_o ——物质平衡方程中原油及其原始溶解气膨胀的项, rb/stb ;
 f_g ——气体分流量, 无量纲;
 f_w ——水的分流量, 无量纲;
 F ——地下流体采出量, rb ;
 G ——天然气原始地质储量, scf ;
 G ——分流量方程中的重度, 无量纲;
 G_p ——累积产气量, scf ;
 h ——地层厚度, ft ;
 K ——渗透率, mD ;
 K_r ——相对渗透率, 无量纲;
 K'_r ——端点相对渗透率, 无量纲;
 $\bar{K}_r$ ——拟相对渗透率, 无量纲;
 l ——长度, ft ;
 L ——长度, ft ;
 m ——气顶与油柱的原始烃类孔隙体积比值(物质平衡方程), 无量纲;
 m ——用于试井解释的半对数曲线早期直线段的斜率, $\text{psi}/\text{对数周期}$;
 $m(p)$ ——拟压力, psi^2/cP ;

M ——端点流度比,无量纲;
 n ——摩尔数;
 N ——储罐油原始石油地质储量, stb;
 N_p ——累积产油量, stb;
 N_{pd} ——无量纲累积产油量, PV;
 N_{pD} ——无量纲累积产油量, HCPV;
 p ——压力, psia;
 p_b ——饱和压力, psia;
 p_D ——无量纲压力;
 p_e ——外边界压力, psia;
 p_i ——原始压力, psia;
 p_{sc} ——标准条件下的压力, psia;
 p_{wf} ——井筒流压, psia;
 p_{ws} ——井筒静压, psia;
 p_{wsl} ——半对数压力恢复曲线或双流量压降曲线的早期直线段上的静压, psia;
 $\bar{p}$ ——平均压力, psia;
 p^* ——无限关井时间(Horner 曲线)(也参见 Z^* 值)对应的 p_{wsl} 值, psia;
 q ——产液量, stb/d;
 q_{wi} ——注水量, bbl/d;
 Q ——产气量, 10^6 scf/d;
 r ——径向距离, ft;
 r_e ——外边界半径, ft;
 r_{cD} ——含水层/储层半径比, 无量纲;
 r_o ——储层半径, ft;
 r_w ——井筒半径, ft;
 R ——生产(瞬时)气油比, scf/stb;
 R ——通用气体常数;
 R_p ——累计油气比, scf/stb;
 R_s ——溶解油气比, scf/stb;
 S ——表皮系数, 无量纲;
 S_g ——含气饱和度, PV;
 S_{gr} ——残余气饱和度, PV;
 S_o ——含油饱和度, PV;
 S_{or} ——残余油饱和度, PV;
 S_w ——含水饱和度, PV;
 S_{wbt} ——见水时的含水饱和度, PV;

S_{wc} ——束缚水饱和度, PV;
 S_{wf} ——前缘含水饱和度, PV;
 $\bar{S}_g$ ——平均厚度的含气饱和度, PV;
 $\bar{S}_{gd}$ ——平均厚度的干气含气饱和度, PV;
 $\bar{S}_w$ ——平均含水饱和度, PV;
 t ——时间, (选用适当的单位) h(a);
 t_D ——无量纲时间;
 t_{DA} ——无量纲时间, $t_D r_w^2 / A$;
 Δt ——关井时间(压力恢复), h;
 Δt_s ——在 MDH 曲线上 p_{ws} 外推至 p_i 或 $\bar{p}$ 处压力恢复期间的关井时间;
 T ——绝对温度(兰金度数);
 U ——含水层常数, bbl/psi;
 v ——速度, ft/d;
 V ——体积, ft³;
 W ——宽度, ft;
 W_D ——无量纲累积水侵量;
 W_e ——累积水侵量, bbl;
 W_i ——累积注水量, bbl;
 W_{id} ——无因次累积注水量, PV;
 W_{iD} ——无因次累积注水量, HCPV;
 W_p ——累积产水量, bbl;
 Z ——气体偏差系数, 无量纲;
 Z^* ——Horner 压力恢复分析中替代 p^* 的符号。

希腊符号

α ——体积波及系数, 无量纲;
 γ ——相对密度(在标准状态下, 液体: 以水为 1、气体: 以空气为 1 为基准);
 γ ——欧拉常数的指数(= 1.781);
 Δ ——差值;
 θ ——倾角;
 μ ——粘度, cP;
 ρ ——密度, lb/ft³;
 σ ——试井方程中的系数[= $7.08 \times 10^{-3} Kh / (q\mu B_o)$]。

下标符号

b ——泡点;
 bt ——见水;
 d ——差异(PVT 分析);
 d ——无量纲(PV);

d——驱替相;
 D——无量纲(压力、半径、时间);
 D——无量纲(HCPV);
 DA——无量纲(时间);
 e——生产末期;
 f——闪蒸分离;
 f——注水前缘;
 g——气体;
 i——累计注入量;
 i——原始;
 o——原油;
 p——累计产量;
 r——相对;
 r——半径;
 s——溶解气;
 sc——标准条件;
 t——总计;
 w——水;
 wf——井筒流动;
 ws——井筒静态。

缩写

CTP——恒定边界压力;
 CTR——恒定边界流量;
 CVD——恒定体积亏空;
 DST——中途测试;
 EOR——提高原油采收率;
 EOS——状态方程;
 EWT——延时试井;
 FIT——地层间隔测试器;
 FVF——地层体积系数;
 GDT——气下降到;
 GOC——油气界面;
 HCPV——烃类孔隙体积;
 IARF——无限径向流;
 JOA——联合作业协议;
 KB——方钻杆;
 MDT——模块式地层动态测试器;
 MGV——可动气体体积;