

国内外石油技术进展 (十一五)

采油工程

张绍东 等主编



CAIYOU GONGCHENG

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

国内外石油技术进展（十一五）

——采油工程

张绍东 等主编

中国石化出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

国内外石油技术进展: “十一五” 采油工程/张绍东等
主编. —北京: 中国石化出版社, 2012. 3
ISBN 978 - 7 - 5114 - 1474 - 8

I. ①国… II. ①张… III. ①石油开采 - 世界 - 文集
IV. ①TE35 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 036438 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭, 或者以任何形式或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址: 北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编: 100011 电话: (010) 84271850

读者服务部电话: (010) 84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com

河北天普润印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 17.75 印张 446 千字

2012 年 6 月第 1 版 2012 年 6 月第 1 次印刷

定价: 78.00 元

前 言

《国内外石油技术进展(十一五)》是在对“十一五”期间国内外石油专业技术研究动态、前沿技术以及发展趋势进行了系统性地跟踪调研,并结合国内油田勘探开发的难点、热点问题总结编写的一部反映国内外石油技术现状和进展的图书。该书以国内外六大石油技术系列为主,有所侧重地介绍了“十一五”期间石油物探、石油地质、石油测井、石油钻井、采油工程、地面工程等专业的技术现状和发展趋势。

全套书分为《国内外石油技术进展(十一五)——石油物探》、《国内外石油技术进展(十一五)——地质与开发》、《国内外石油技术进展(十一五)——钻井与测井》、《国内外石油技术进展(十一五)——采油工程》和《国内外石油技术进展(十一五)——地面工程》五册。

该套书涉及面广,技术内容丰富。希望本书能为油田企业今后的科技工作和生产发展提供参考依据,为广大石油科技工作者及高校师生了解和掌握最新石油技术和动态提供借鉴和参考。

出版本书的目的是希望通过交流学习,实现信息共享、资源共享、成果共享,从而有效避免重复研究,提高研究起点,整体提升我国油气开采技术水平。石油开采技术日新月异,书中涉及内容及观点或许有不当之处,敬请广大科技工作者提出宝贵意见。

目 录

第一章 注水工艺技术进展	(1)
一、国外分层注水工艺技术	(1)
二、国内分层注水技术新进展	(8)
第二章 防砂工艺技术进展	(90)
一、国外防砂新技术	(90)
二、国内防砂新技术	(99)
三、裸眼井防砂完井技术	(108)
第三章 提高机采系统效率技术进展	(115)
一、抽油机井举升系统优化设计软件的技术水平及应用效果	(115)
二、提高地面效率的设备工具的性能特点及应用效果	(122)
第四章 气藏开采工艺技术进展	(132)
一、低渗致密砂岩气藏开采新技术	(132)
二、凝析气藏开采新技术	(138)
三、含酸性气体气藏开采新技术	(161)
四、气藏开采配套新技术	(188)
第五章 复杂结构井采油工艺技术	(202)
一、复杂结构井人工举升技术	(202)
二、复杂结构井开采技术	(203)
三、膨胀管技术	(206)
第六章 智能完井采油技术进展	(213)
一、智能井技术	(213)
二、国内智能井的发展现状	(215)
三、国外石油公司智能井技术	(215)
四、现场应用案例分析	(226)
第七章 油田污水处理技术	(228)
一、低渗透油田回注污水处理技术	(228)
二、采油污水深度处理资源化利用技术	(236)
三、油田外排污水处理技术	(247)
四、三次采油污水处理技术	(251)
五、海上油田污水处理技术	(256)

第八章 新材料在采油工程技术中的应用 (271)

 一、纳米材料..... (271)

 二、功能性合成材料 (273)

 三、高强度、高弹性材料 (274)

 四、耐腐蚀、耐磨材料 (275)

 五、新型耐磨材料调研 (276)

 六、橡胶材料..... (277)

第一章 注水工艺技术进展

一、国外分层注水工艺技术

国外的注入水水质处理工艺较为先进，注入水基本上不堵塞地层，洗井解堵周期比较长，注水过程中没有不动管柱洗井的要求，因此注水封隔器没有洗井通道，结构简单，减少了烦琐的定期洗井工序，大大延长了管柱的使用寿命。分层注水工艺相对简单，主要是分层注水完井工艺，配水主要采用井口流量调节器和井下流量调节器进行定量配水，一般不需要进行井下流量测试，不配套专门的井下流量测试技术，管柱寿命可达3年以上。

（一）分层注水工艺管柱

分层注水管柱多为锚定式结构，按井下管柱数量与相对位置可分为单管注水完井工艺、同心管注水完井工艺、平行管注水完井工艺、混合分注完井工艺等管柱。

1. 单管注水完井工艺管柱

单管注水就是在套管内只有一条注水管柱。主要有单管同心注水工艺、单管偏心分注工艺两种类型。单管注水工艺管柱具有结构简单、易于操作等特点。从国外目前的应用情况看，该类管柱的注水层数都在1~3层之间，3层以上的分注井则比较少见，管柱图见图1-1~图1-5。

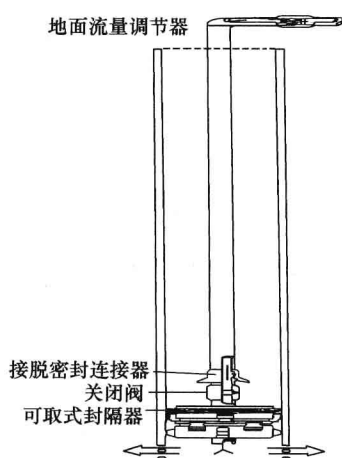


图1-1 单管单封单层
注水完井管柱

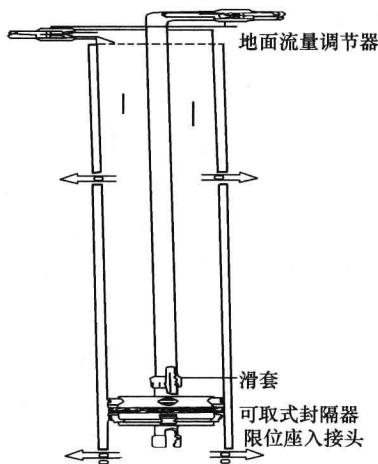


图1-2 单管单封双层
注水完井管柱

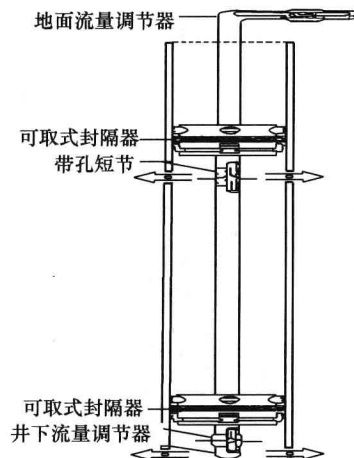


图1-3 单管双封双层
注水完井管柱

管柱结构形式采用锚定支撑式，主要由卡瓦式封隔器、流量调节器、伸缩短节等组成。封隔器用于分层和锚定管柱，有效克服管柱的蠕变对封隔器密封性能的影响，密封压力较高，工作寿命较长。

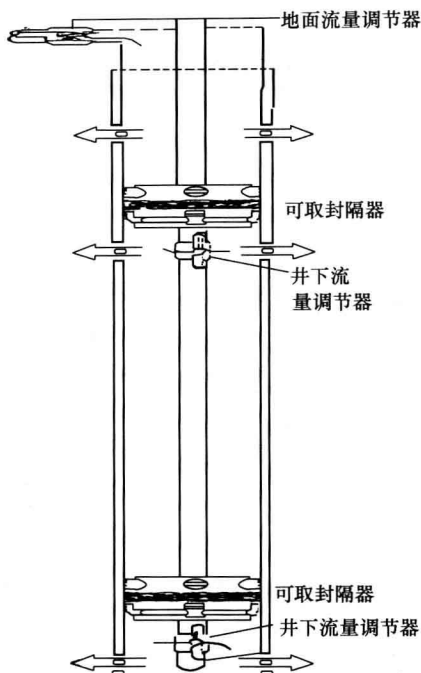


图 1-4 单管双封三层注水完井管柱

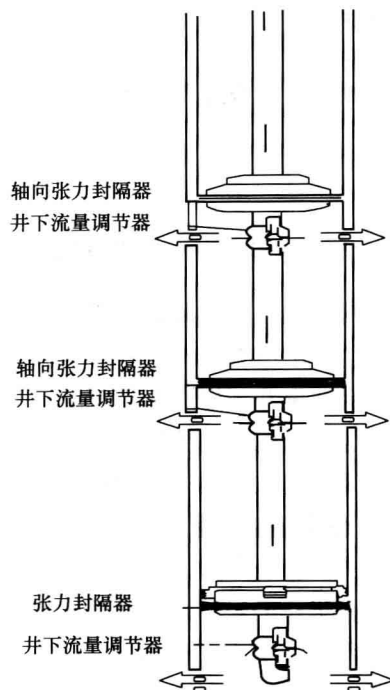


图 1-5 单管三封三层注水完井管柱

伸缩短节一般装在第一级封隔器的上方，用于补偿注水过程中温度和压力效应引起的管柱长度变化，改善封隔器的受力条件，因而管柱的寿命较长。

2. 同心管注水完井工艺管柱

同心管注水就是管柱在套管中同心的平行排列，管柱一般由 2 根不同径的油管套形成分注管柱。由保护套管封隔器、分层封隔器、内外油管、地面流量调节器组成(见图 1-6)。

注水时，注入水分别由小直径油管和油管间的环空注入上下两层，各层注入水可直接由地面流量调节器控制，调配简便易行。管柱设有套管保护封隔器，可实现无套压生产，起到保护套管的目的。

3. 平行管注水完井工艺管柱

平行管注水就是注水管柱在套管中不同心的平行排列，由于是多管分注多层，也称作多管分注工艺。该工艺在美国得到广泛的应用，常见的有以下几种管柱结构：

(1) 双管单封双层注水完井管柱

该管柱主要由平行管柱固定锚、封隔器及配水器等工具构成(图 1-7)。双管单封双层注水完井管柱结构简单，施工方便，但由于油套环空敞开，容易腐蚀、损坏套管。

(2) 双管双封双层注水完井管柱

该管柱主要由双管水力封隔器、永久封隔器、配水器等工具

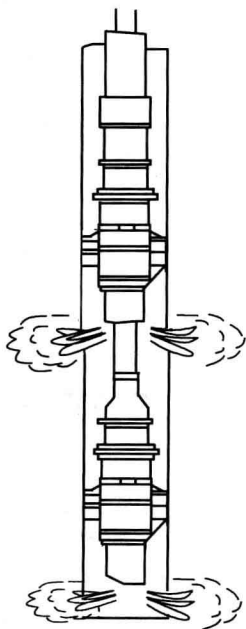


图 1-6 同心管注水完井工艺管

组成(图 1-8)。双管双封双层注水完井管柱结构较为复杂,施工烦琐;管柱中的永久封隔器采用钢丝绳坐封,长管柱在地面与双管封隔器配接好,下入时尾管穿过永久封隔器的密封筒,与永久封隔器形成串联密封。由于隔绝了油套环空,因而能实现无套压生产,保护油层以上套管。

(3) 三管三封三层注水管柱

该完井管柱结构复杂,施工麻烦,但工作性能可靠(图 1-9)。

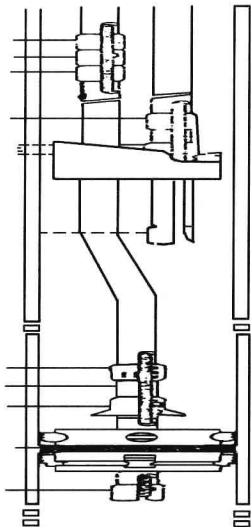


图 1-7 双管单封注水完井管柱



图 1-8 双管双封注水完井管柱

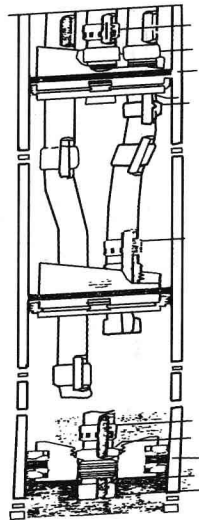


图 1-9 三管三封三层注水完井管柱

4. 混合分注工艺

在分层注水中,国外目前还经常采用以下两种完井管柱:

(1) 双管四封四层注水完井管柱(图 1-10)

(2) 单管电潜泵回注完井管柱(图 1-11)

该管柱有铠装电缆、开孔坐入接头、电缆密封头、双管水力可取式封隔器、滑套、短节、限位坐入接头及潜流泵总成等工具组成。工作时,铠装电缆经由双管水力封隔器与短管相连,驱动潜流泵工作,潜流泵汲取下层水直接注入上层。利用该管柱可以充分利用下层水源,简化了地面注水流程,但完井管柱结构复杂,同时也不能实现无套压注水。

该管柱适用于地面配套性较差的小区块油田的注水井。

(二) 国外分层注水配套工具

1. 封隔器

国外注水井常用封隔器一般采用可取式封隔器,耐温可达 150℃,耐压 50MPa,由于没有不动管柱洗井的要求,封隔器上无洗井通道,结构比较简单;管柱能有效防止地层反吐,工作寿命达 3 年以上,可适用于深井和高压注水井,能够满足各类油藏分层注水开发的需要。主要有以下几种形式:

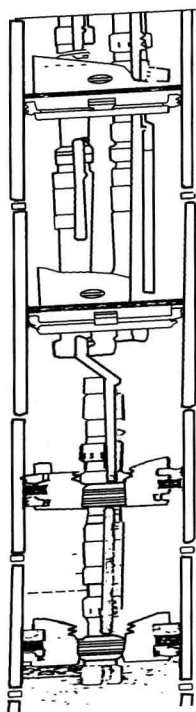


图 1-10 双管四封四层注水管柱

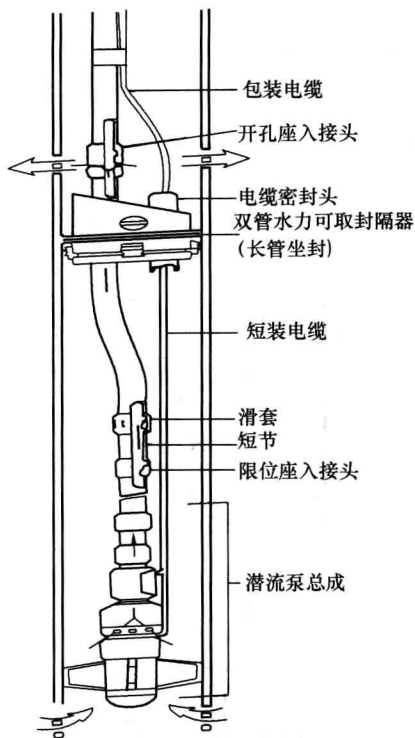


图 1-11 单管电潜泵回注完井管柱

(1) 卡瓦式张力封隔器(图 1-12)

该封隔器是理想的张力单管注水封隔器，有较大的内通径，操作简单可靠。通过油管受拉的张力坐封，用于不能使用重力坐封的井中或者封隔器下部压差较大不能提供足够封隔器坐封所需的重力。下放油管或者正转油管 $1/4$ 圈解封，此外还有紧急切断解封的特点。

国外因为注水水质较好，注入水对管柱的腐蚀较小，一般多采用卡瓦封隔器，它既可以实现分层，又能起到锚定注水管柱，消除管柱的蠕动，延长管柱的工作寿命，既可以单独使用，也可与串联封隔器配套应用，因而应用较广。

(2) 串联张力封隔器(图 1-13)

该封隔器用于单管注水，作为上封隔器使用，但不能单独使用，需要与其他封隔器(如卡瓦式张力封隔器等)串联使用。



图 1-12 卡瓦式张力封隔器



图 1-13 串联张力封隔器

(3) 双管水力封隔器(图 1-14)

该封隔器多用于大斜度井的双管分层注水，施工简单可靠，是理想的双管水力坐封封隔器。

(4) G6(Y422)封隔器

能够解决普通封隔器蠕动失效问题，内径大，测试方便，耐压差耐温好。但外径大，必

须选用正确的通井规, 保证工具可以通过最小的套管内径。

主要技术参数:

最大外径: 117mm; 最小内径: 62mm;

总长度: 1400mm; 承受压差: 35MPa; 适

用井温: $\leq 170^{\circ}\text{C}$; 适用套管内径: 121 ~ 124mm; 两端连接螺纹: $2\frac{7}{8}\text{TBG}$ 。

(5) 可钻可取式封隔器

坐封方式: 从中心管加液压坐封。解封方式有三种: 上提解封; 憋压解封(投放 $\phi 50.8\text{mm}$ 钢球, 再从油管内加液压 4 ~ 5MPa 实现解封); 钻磨解封(下入钻具钻掉锚定部分, 可使封隔器解封)。

主要技术参数:

工作压力: 35MPa; 工作温度: 120°C ; 坐封压力: 12 ~ 15MPa; 锁定压力: 6 ~ 8MPa; 上提解封力: 60 ~ 80kN; 憋压解封压力: 4 ~ 5MPa; 总长: 1450mm; 最大外径: 115mm; 最小内径: 48mm。

(6) RTTS 封隔器 (Halliburton RTTS80)

具有锚定、扶正、密封的功能, 胶筒采用丙烯聚四氟乙烯材料, 耐温 145°C 。

主要技术参数:

最大钢体外径: 115mm; 最小钢体内径: 62mm; 适应套管内径: 121 ~ 124mm; 总长: 1200mm; 耐压: 80MPa; 适应井温: $\leq 145^{\circ}\text{C}$ 。

2. 智能井井下阀门流量控制调节

所谓智能井是指一个系统具备了收集、传输、分析完井数据、生产数据和油藏数据以及采取更好的方式控制井和生产过程。

(1) 智能井流控制

智能井能够用于限制或排除一口井非设计区域的产水或产气影响, 也可以用来控制同一口井中不同层位、不同部件或不同油藏的注水和注气控制。操作者可以管理水往哪里注或在哪些非波及层位进行采油。这些能力极大提高了二次水驱和三次提高采收率项目的效果。

流量控制阀是两极性的, 只有开和关两个状态, 通过有限的不连续设计进行节流或无限变化的节流。对于无限变化的节流或多重不连续的节流, 控制微调方案可以标准化或者可以根据油藏需求具体设计。

(2) 单层控制

通过节点分析与流体节流动态分析相结合进行流量控制阀设计。图 1-15 展示了单层完井情况。油管 $3\frac{1}{2}\text{in}$, 在 7000ft 处射孔。流量控制阀安装在生产管柱射孔上方, 封隔器下方。油藏压力是 3000psi, 原油 API 相对密度为 33, 气油比为 $400\text{ft}^3/\text{bbl}$, 泡点压力为 3000psi。使用 Vogel 流入特性关系 (IPR) 对流入动态建模, 同时垂直管柱方向流动建模基于 Duns 和 Ros 的受知识产权保护的计算机软件。

(3) 多层控制

多层控制微调设计与单层设计相似。在多层控制的情况下, 管柱井径 $5\frac{1}{2}\text{in}$, 以满足多层更大的混合流量。最大流动井口压力减少到 150psi, 原油的泡点压力是 1600psi。假设有 4 层(图 1-16)。所有油藏压力假设相等, 每个油藏中流动的组分相同。

(4) 注水

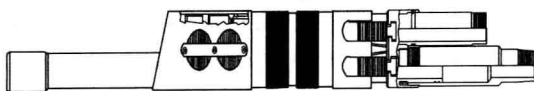


图 1-14 T 型双管水力封隔器

假设每个层具有稍微差异的油藏压力，如图 1-17 所示。在关井条件下，存在层间窜流的可能性。考虑所有的层位都是完全打开的，最大井口压力也是可行的。最大注水压力受限于最大注水泵极限、管柱、井口或者完井压力极限。假设最大的管柱注水压力为 1000psi。在这种条件下，总共有 18750bbl/d 水可以注入，井下压力能够达到 3923psi。注入特征曲线是随速率提升而压力提升，而管柱特征曲线是随速率提升而下降。

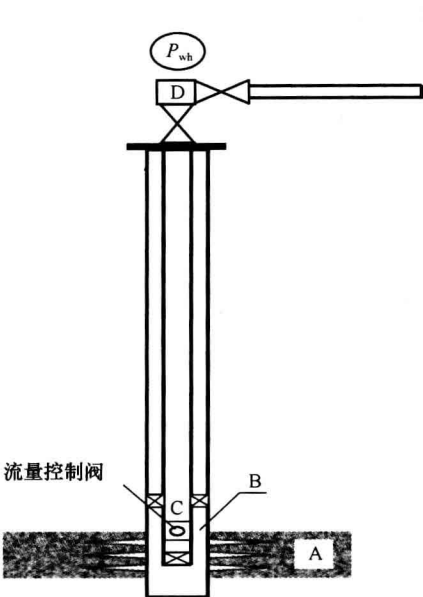


图 1-15 单层完井管柱

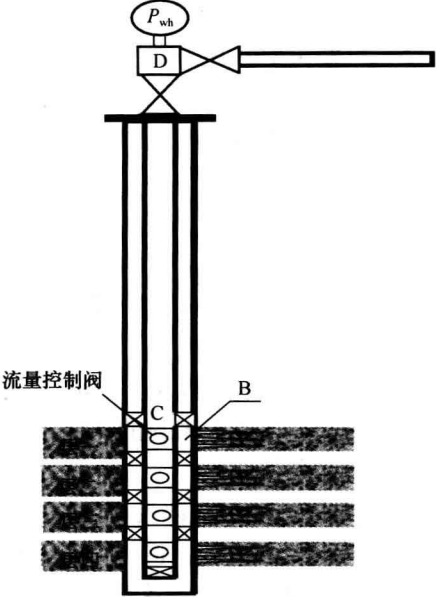


图 1-16 多层完井管柱

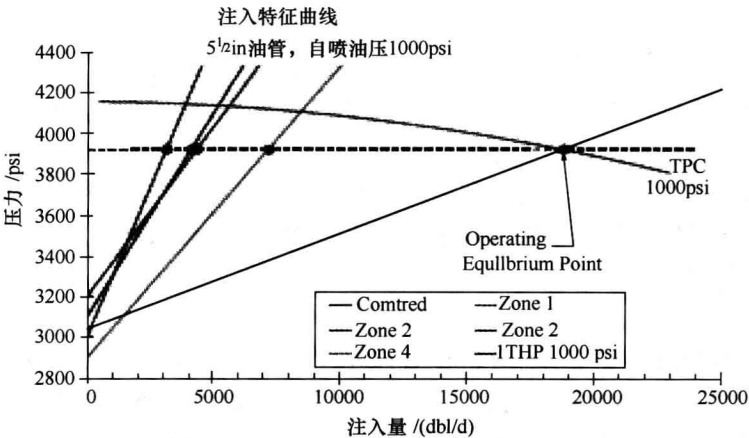


图 1-17 多层注水 IPC 曲线和 TPC 曲线

将常压方法应用到层 4 得到 C_v 曲线，如图 1-18 所示。图 1-19 显示了该层减弱的 RPC 曲线。

综上所述，设计智能井下阀门用于调节井下流量，是建立在节点分析概念基础上的系统方法。设计过程建立了一整套所需要的 C_v 曲线用于优化流量范围内的控制敏感度。但是必须认识到这种设计过程通常是在对油藏原始特征不完全了解的情况下，并且对油藏的未来特征也缺乏了解的基础上进行的。另外，垂直流相关关系也远称不上完善。多相流流动特征只

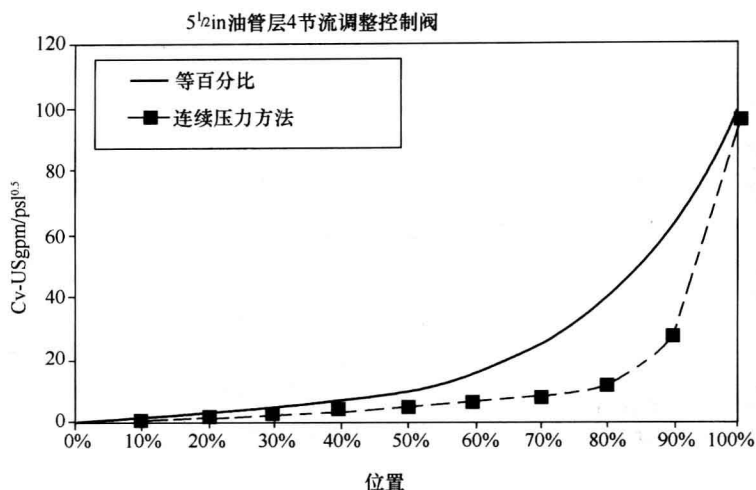


图 1-18 注水层 4 节流控制阀曲线

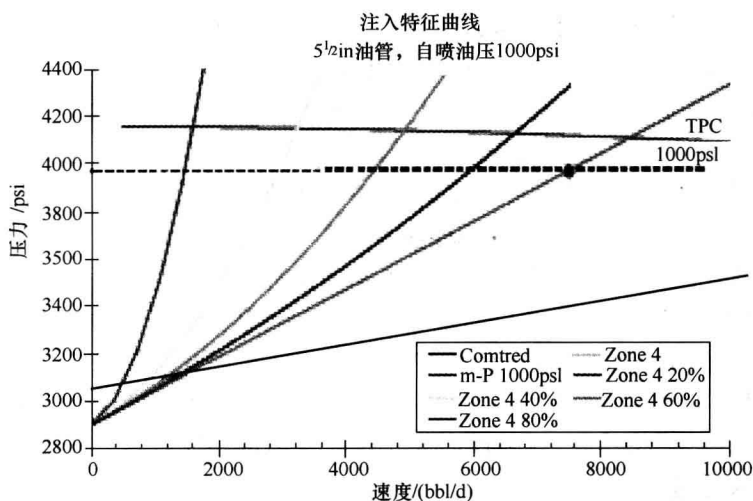


图 1-19 注水层 4 的衰减工业过程控制曲线

能被粗略预测，对于复杂结构和轨迹井必须作出许多简单的假设以建模，在井下变流量控阀门设计和制造过程中也存在许多技术和经济上的限制，极限的 C_v 取值情况通常是不能满足的。

(三) 毛细管防腐技术(见图 1-20)

防腐剂通过毛细管注入。防腐剂是化学品，从溶液中被吸收到金属表面保护金属防止腐蚀。保护膜通过提高阳极与阴极之间的极化作用、降低传播到金属表面的离子数量和提高金属电解液表面的电阻来降低腐蚀，通过提高过电压氢含量——电压需要移走氢，防止组合来抑制腐蚀的进程。防腐剂的选择依靠被保护的金属和周围的环境条件，采用何种方法注入同样重要。效果较好的是一个连续的保护油管的注入方法：防腐剂被泵入到绑在油管外面的毛细管内，进入旁边的环形空间中，在这里防腐剂与保护液相混合，形成金属表面的分配保护膜，达到防腐的目的。

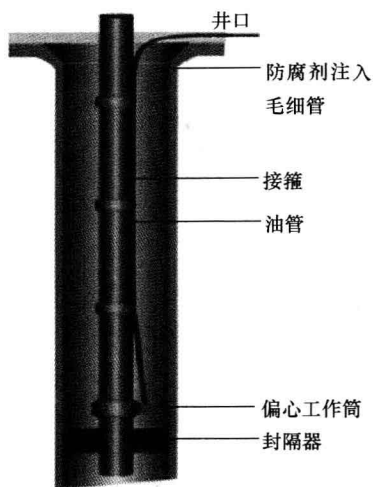


图 1-20 毛细管防腐技术

二、国内分层注水技术新进展

随着国内各油田相继进入开发后期，含水升高，层间矛盾不断加剧，注水井况日益恶化，同时受注水水质达标率较低等问题的影响，注水管柱寿命普遍较短。近几年，随着对管柱蠕变危害认识的提高，为适应油田开发状况发展的需要，提高注水效果，降低生产成本和延长管柱的工作寿命，各油田都开展了对管柱结构、锚定支撑技术和补偿技术、细分技术、斜井分注技术的研究。尤其在“十五”期间，分层注水工艺技术取得了丰硕成果，注水工艺技术系列日臻完善，逐步形成了适应不同油藏条件、不同井况的分层注水工艺技术系列。

(一) 分层注水思想的进步

早期投入开发的油田多是具有自然产能的中、高渗透性油藏，当时尚未有分层注水技术，都是采用笼统注水的做法。在收到注水效果的同时，也产生了注入水单层突进，油井过早水淹的问题。为了解决储层非均质产生的这一突出矛盾，催生了分层注水技术。在“有什么样注入剖面就有什么样产出剖面”理论指导下，利用分层注水这一手段，控制高渗层吸水量、加强低渗层注水，以达到“拉齐水线，均匀开采”的目的，在层段分水的具体做法上，多采用近乎相同的注水强度按射开油层厚度配水，将这种注水做法称为“均衡注水思想”，是分层注水工作中的主流思想。

随着低渗透储层陆续投入开发，人们为了获得相对高产，一般都选好一些的层段压裂投产的方式，其结果又人为地扩大了层间矛盾，使产出剖面差异拉大。针对主力油层注水不足的状况，加大主力油层注水，“优先保证主力油层注好水，兼顾其他层”，这种注水思想是对“均衡注水思想”的改进，是在合理的注采比下，按油层产出状况需要实行配水的新方法，为了与“均衡注水思想”相对应，我们称“优先保证主力油层注好水，兼顾其他层”的注水思想为“非均衡注水思想”。

均衡注水与非均衡注水的相同点：

- (1) 采用的技术手段相同；
- (2) 针对的矛盾相同，二者都是针对储层普遍存在的非均质特性；
- (3) 目的性相同：二者都是(也都能够)改善水驱效果，提高水驱采收率。

均衡注水与非均衡注水的异同点：

(1) 分层配水工艺不同：均衡注水采用相同(或相近)的注水强度，按射开厚度配水，非均衡注水则按产出剖面的差异非均衡配水。

(2) 技术途径不同：均衡注水是通过控制或改造层段的非均质性，使注入水齐头并进，实现各层均匀开采。而非均衡注水则是顺应储层的非均质，优先保证不同开发阶段的主要出油层注好水，同时兼顾其他层，实现分层次接替开采。

(3) 着眼点不同：均衡注水是从水井出发，让油井随水井而变；非均衡注水是从油井出发，让水井随油井而变。

(4) 追求的最终目标不同：均衡注水思想最终追求的是：各层尽可能实现均衡开采；而非均衡注水思想最终追求的是：各尽所能，各尽其力。

(5) 评价油层动用状况的标准不同：如果测得对应的油水井的产油剖面、吸水剖面较均匀，并能注采对应，从均衡注水角度来评价，会认为这是最理想(或较理想)的状况；而非均衡注水角度出发则认为是主力油层受到了限制，没有充分发挥作用的反映。非均衡注水思想评价分层动用状况好的标准，是主力层作用得到充分发挥，接替层的准备工作充分，高含水层得到控制。一句话，就是该加强的得到加强，该控制的得到控制，而且这种“加强”或“控制”都应在合理的限度内。

以上几点不同，集中体现出两种思想的差异，均衡注水思想，是在“有什么样注水剖面就有什么样产出剖面”的理念指导下，试图利用分注手段人为地控制或改善储层的非均质状况，使注入水按照人的意愿实现各层段齐头并进、均衡开采；非均衡注水思想则是顺应储层非均质的现实，因势利导，利用分注手段满足治理产出状况差异的需要，实现分层次开采接替稳产。

正是二者存在上述不同，可以说非均衡注水是对均衡注水的改进。非均衡注水的核心思想是“优先保证主力油层注好水”，这符合方法论中工作要突出重点、抓住主要矛盾的思想，非均衡注水思想的实质是按产出剖面实际需要注水，这符合认识论中客观实际是第一性的，人的主观意识是第二性的思想。追求均衡开采思想的本身并没错，问题是由于人们对储层非均质的控制和改善是很有限的，均衡开采的目标不仅开采过程中达不到，而且是最终也达不到。比如，到油田废弃的时候，有的层采出程度可达40%以上，有的层可能不到20%。这是由它们的先天差异造成的，人们只能在有限的范围内改善它。正是基于此，非均衡注水思想追求的是各层都能各尽所能，各尽其力。

非均衡注水的技术主张和相应做法：

在非均衡注水思想指导下，形成了一套有别于均衡注水的技术主张和相应做法，主要有：

(1) 按照非均衡注水的思路，提出了“合理、有效注水的内涵、标志及必要条件”；

(2) 强调必须“优先保证主力油层注好水”，并建立了不同开发阶段，主力油层的识别方法；

(3) 注水层段卡分时，尽可能将主力层单卡单注。不能单注的就尽量细分，并保证按分注方案测、调试成功；

(4) 主张“早期实施带有换向驱作用的间歇注水”；

(5) 主张“坚持不懈地开展注水技术政策研究”。研究不同地质条件、不同井网井距、不同开发阶段合理有效注水的技术参数；

(6) 主张“油水井对应整体治理”，以充分发挥注水、压裂相协同的进攻性作用；

(7) 主张不论混注井或分注井，都应大力开展调整吸水剖面的工作。认为“调剖”是对分注技术的补充与完善；

(8) 提出了“油层分层动用状况评价思想及具体评价方法”；

(9) 建立了“井网加密调整效果技术性评价内容、指标体系及评价方法”；

(10) 建立了“注水效果技术性评价内容、指标体系及评价方法”等。

非均衡注水思想认为，一个好的分层注水方案，必须解决好“两个关键问题”，体现出“六个合理”。

非均衡注水的两个关键问题：

(1) 优先保证主力油层注好水，从配水思想、配水量、层段卡分、测调试工作安排等方

面，都要有利于主力油层注好水。

(2) 准确识别所处开发阶段的主力出油层。利用一定数量(代表性强)的分层试油、试采、分层测试、分层措施效果等资料，采用动静结合、定量评价方法等准确判断出主力出油层。

非均衡注水的六个合理：

(1) 注水压力控制合理。也就是说要在油层破裂压力以下注水。

(2) 注水方式选择合理。该分注的分注，该细分的细分，该间注的间注，该换向驱的换向驱等(由井网确定的注水方式不在此内)。

(3) 注入水总量控制合理。使油田注水速度和年压升速度处在合理界限。

(4) 层段水量分配合理。在合理注采比下，该加强的层段得到加强；该减弱的层段得到减弱。而且这种“加强”或“减弱”也应在合理限度内。

(5) 平面关系处理合理。依据分层认识成果，该加强的方向得到加强；该控制的方向得到控制。这种“加强”或“控制”也应在合理范围内。

(6) 整体与局部关系处理合理。注入水单层、单向突进的现象是不可避免的，处理这种矛盾要整体评价，不可顾少弃多，顾轻弃重。

如何实现“六个合理”，建议按照“分层配水研究工作流程图”(图 1-21)严格做下来就可以实现。

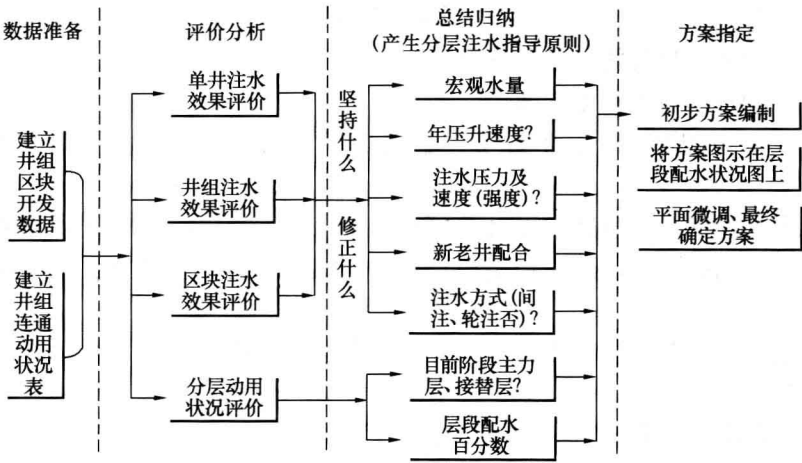


图 1-21 分层配水研究工作流程图

从流程图中看出：注水效果评价分析阶段是基础、是核心。有了这个阶段充分细致的分析，才能进入总结归纳阶段，弄清楚应该坚持什么、修正什么，进而得出指导下一步分层注水的有关参数——即产生分层配水指导原则。有了“指导原则”就可进行具体方案编制工作。在这个阶段里，将“初步配水方案图示在层段配水状况图上，进行平面微调”的环节，往往被忽略，那是很不可取的。因为有了这个环节才能尽可能将平面关系处理得合理。

非均衡注水的效果：

非均衡注水思想首先产生于吉林油区红岗油田，红岗油田也是应用最好的一例。1975年至1977年初采用均衡注水方法，油田产量递减大。自1977年初以来全面推行非均衡注水方法，油田开发形势一直很好，见表1-1。

表 1-1 红岗油田开发初期老井产量递减率变化表

年份 项目	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	备注
年注采比	1.06	1.11	1.21	1.30	1.56	1.62	1.44	1.46	1.43	
年末含水率/%	6.8	8.8	9.7	12.1	18.9	23.1	29.1	33.9	40.2	
自然递减率/%	28.1	18.6	3.6	6.0	7.7	7.5	14.1	13.0	7.5	直线回归
综合递减率/%	21.5	13.4	-1.75	-1.98	4.5	4.9	11.5	8.4	4.3	
备注	1975 年至 1977 年 2 月为均衡配水, 以后为非均衡配水; 1981 年至 1982 年因井网加密调整, 注水井大面积停注									

1984 年以后, 由于含水率升高, 递减率虽有所增大, 但仍属稳产状况最好的油田之一, 其开发指标居国内同类油田先进水平, 曾连续三次被授予全国高效开发油田称号。当然这不是分层注水单一因素形成的, 但可以说, 非均衡分层注水效果好是重要因素。总结这期间红岗油田分层注水的基本做法, 就是“在合理注采比下, 将一半以上水量注给主力油层”。

吉林油区的新立油田属构造——岩性油藏。开采的目的层为下白垩系泉 4、3 段的扶余、杨大城子油层, 岩性以粉砂岩为主; 物性差, 空隙度一般为 14.5%, 空气渗透率平均为 $6.7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 地层原油粘度 $8.7 \text{mPa} \cdot \text{s}$; 储层中近东西向裂缝较发育。5 号区块是新立油田的主体区块, 于 1983 年以 300m 井距正方形反九点面积注采井网投入开发, 因受裂缝影响, 注水效果不理想。于 1997~1999 年按 134 米注采排距、不规则的近东西向线状注水方式分期调整完毕。2001 年末区块综合含水率 70.8%, 采出程度 25.3%。但稳产状况仍不好, 产量递减较大, 见表 1-2。

表 1-2 新立油田 5 区 1995~2001 年自然递减表

年份	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
自然递减率/%	28.90	14.49	18.11	34.77	21.91	13.81	23.80
备注	此表为回归法计算的递减率						

2002 年初与采油厂技术人员一起分析了该区块降产大的原因, 并利用分层测试资料、单层措施挖潜等资料, 采用动、静结合, 定量评价分析了当前阶段的主要出油层。分析认为该区降产较大的主要原因是主力油层注水不足。于是在保持总水量大体不变情况下, 编制了主要层段水量调整的新分层配水方案, 见表 1-3。

表 1-3 新立油田 5 区块分注井配水变化表

	主力层			接替层			差层			合计		
	层数	原配	新配	层数	原配	新配	层数	原配	新配	层数	原配	新配
配水/(m^3/d)	39	510	710	41	500	525	28	280	130	108	1290	1365
水量百分数/%		39.5	52.0		38.8	38.5		21.7	9.5			

新方案于 2002 年 7 月交付实施, 9 月份就初见成效, 年末区块老井产量自然递减率由上一年的 23.8% 降为 11.4%, 实施半年自然递减率就下降 12.4 个百分点(回归法计算)。老爷府油田的 2 区, 通过调整层段水量也取得了很好效果。老爷府油田 2 区采用分注技术, 同时开采高台子油层和扶余油层。在采用 1.2 左右注采比的情况下, 将 70% 以上的水注给了