



精 要 本

# 采油工程手册

万仁溥 主编

*Production  
Engineering  
Handbook*



石油工业出版社  
Petroleum Industry Press

# 采油工程手册

(精要本)

万仁溥 主编

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本手册重点介绍了我国现有的、最新的、公认的采油工程基本原理、基本概念、基本公式、基本数据、基本技术、基本设备等方面的知识,同时也介绍了国外一些成型的最新技术和方法。包括采油工程基础、完井工程、人工举升、注水工程、压裂酸化、油水井调剖堵水、热力采油、防砂、防蜡、防腐、防垢等方面的内容。

本手册可供从事油气田开发、生产方面的管理人员、工程技术人员、研究人员,以及相关院校师生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

采油工程手册(精要本)/万仁溥主编.  
北京:石油工业出版社,2003.3  
ISBN 978-7-5021-4180-6

I.采…

II.万…

III.石油开采-技术手册

IV.TE35-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第012705号

石油工业出版社出版  
(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)  
石油工业出版社印刷厂排版印刷  
新华书店北京发行所发行

\*

787×1092毫米 16开本 50印张 1280千字 印7001—10000

2003年3月北京第1版 2009年8月北京第3次印刷

定价:148.00元

**《采油工程手册》(精要本)  
编委会成员**

**主 编：万仁溥**

**副主编：吴 奇 陈宪侃 张 琪**

**编辑及审校组人员：**

**陈宪侃 董恩环 蒋 阒 张 锐**

**黄盛崇 李 荡 李章亚 单文文**

**责任编辑：张卫国 章卫兵**

## 《采油工程手册》原稿编写人员

### 第一章 采油工程基础

张琪、曲占庆、吴宁、葛洪魁

### 第二章 完井工程

万仁溥、李章亚、熊友明

### 第三章 人工举升技术

陈宪侃、叶利平、郭吉民、潘蔼生、梅思杰、孟宪军、张世章、冯琦、魏纪德、刘桂玲

### 第四章 注水工程

黄盛崇、罗建军、李光伟、赵玉鹏、李性伟、魏素一、张焱、雷江西、全心宽、范云敏、崔本敬

### 第五章 压裂酸化

单文文、蒋闾、成荣霞、赵金州、胡永全、郭建春、李荡、田和金

### 第六章 油水井调剖堵水

刘翔鹤

### 第七章 热力采油

张锐、刘俊荣、刘尚奇、赵郭平、沈燮泉

### 第八章 防砂、防蜡、防腐、防垢

陈端中、胥锐一、连胜江、王彪、陈宪侃、纪云岭、李玉、李实、金长文

## 前 言

2000年出版的《采油工程手册》是一本以理论为基础，紧密结合生产实际的工具书。该手册从通用的基础理论、油藏工程和采油工程基础，到采油工艺原理、技术、方法，以及实用公式、曲线、图表等，是一本系统的采油工程全书。该手册出版以来，深受油田采油厂矿、研究院所、石油院校，以及井下作业、完井工程等方面的技术人员青睐，普遍认为这是一本理论结合实际，具有理论性、实用性和可操作性的工具书。

《采油工程手册》共分上、下两册，约200万字，内容丰富，概括了全部采油工程技术。但现场读者反映，现场使用最多的是其中的实用技术，对一些通用理论及公式平时应用较少。同时手册分上、下两册，携带不方便。根据这些意见，我们拟将该手册精简成一个合订本，将有关通用理论、油藏工程基础删掉，而将公式保留，但不推导，一些推广使用少的技术，如火烧油层，也未收入。另外，采油工程方案设计概要和油水井大修技术及打捞工具已有单行本出版，也就不再收入。因而，将原书改编成面向现场技术人员的精要本。如果读者需要深入了解某些情况则可查阅原来版本。

这本精要本的《采油工程手册》出版后，将方便广大读者携带、收藏和使用，对于我国采油工程技术的应用和提高，将起到积极的促进作用。书中不当之处，希望读者批评指正。

高 博

# 目 录

第一章 采油工程基础	(1)
第一节 油层敏感性评价	(1)
一、保护油层的岩心分析	(1)
二、油层敏感性评价	(3)
第二节 流入动态及井筒气液两相流动	(9)
一、气液两相流体流入动态	(9)
二、计算井筒压力分布的 Orkiszewski 方法	(10)
第三节 油井生产系统节点分析方法	(17)
一、油井生产系统	(17)
二、节点系统分析	(19)
三、节点分析方法应用	(21)
第四节 岩石力学与地应力基础	(27)
一、岩石力学基本知识	(27)
二、油田原地应力分布规律	(33)
三、地应力测试方法	(39)
四、地应力剖面计算	(43)
参考文献	(46)
第二章 完井工程	(48)
第一节 完井工程新概念	(48)
一、完井工程定义	(48)
二、完井工程理论基础	(48)
三、完井工程系统内容	(48)
四、完井工程系统设计程序	(50)
五、完井工程设计	(50)
第二节 完井方式	(51)
一、射孔完井方式	(51)
二、裸眼完井方式	(52)
三、割缝衬管完井方式	(52)
四、砾石充填完井方式	(54)
五、防砂滤管完井	(56)
六、化学固砂完井	(56)
七、水平井完井	(56)
第三节 完井方式的选择	(60)
一、按岩性来选择完井方式	(60)
二、按油田开发和采油工程选择完井方式	(61)

第四节	完井油管及生产套管尺寸的选定 .....	(65)
一、	自喷井及天然气井生产套管的选定 .....	(65)
二、	人工举升井油管及生产套管尺寸的选定 .....	(66)
三、	增产措施对油管及生产套管尺寸选择的影响 .....	(71)
四、	稠油和高凝油开采井油管及生产套管尺寸的选定 .....	(74)
第五节	生产套管及注水泥 .....	(80)
一、	生产套管设计的基本依据 .....	(80)
二、	套管规范 .....	(81)
三、	生产套管设计 .....	(90)
四、	注水泥 .....	(92)
五、	复杂类型井的固井技术要求 .....	(100)
第六节	射孔技术 .....	(111)
一、	射孔工艺 .....	(111)
二、	射孔枪和射孔弹 .....	(121)
三、	射孔参数优化设计 .....	(122)
四、	射孔负压设计 .....	(126)
五、	现场检测井下射孔及射孔套管质量方法 .....	(131)
第七节	结束语 .....	(133)
	参考文献 .....	(133)
<b>第三章</b>	<b>人工举升技术</b> .....	<b>(135)</b>
第一节	人工举升方式综述 .....	(135)
一、	各种人工举升方式的适应性 .....	(135)
二、	人工举升方式选择方法 .....	(135)
第二节	有杆泵采油 .....	(137)
一、	有杆泵采油装备及主要技术规范 .....	(137)
二、	有杆泵采油的基本计算 .....	(207)
三、	有杆泵抽油系统设计步骤和方法 .....	(213)
第三节	电动潜油泵采油 .....	(219)
一、	主要设备 .....	(219)
二、	电动潜油泵的选择 .....	(235)
三、	电动潜油泵井的诊断技术 .....	(240)
四、	电动潜油泵配套工艺技术 .....	(244)
第四节	水力泵抽油 .....	(250)
一、	水力活塞泵 .....	(250)
二、	地面泵 .....	(263)
三、	高压控制管汇 .....	(266)
四、	井口装置及井下专用工具 .....	(270)
五、	水力活塞泵生产井测试及取样 .....	(274)
六、	水力活塞泵设计与参数优选 .....	(278)
七、	水力喷射泵 .....	(284)



八、动力液·····	(290)
第五节 气举采油·····	(295)
一、气举采油的特点及工作方式·····	(295)
二、气举采油装置·····	(297)
三、气举阀·····	(300)
四、气举采油地面流程及设备·····	(307)
五、气举井设计·····	(316)
六、气举井的诊断与故障处理·····	(329)
第六节 螺杆泵采油技术·····	(333)
一、螺杆泵工作原理及组成·····	(333)
二、螺杆泵工作特性·····	(338)
三、螺杆泵采油设计和配套工艺技术·····	(342)
参考文献·····	(349)
第四章 注水工程·····	(350)
第一节 注水供水与注水水质·····	(350)
一、注水水源·····	(350)
二、注水水质标准的制定原则·····	(350)
三、注水水质标准·····	(353)
第二节 油田注水水质处理·····	(354)
一、浅层地下水水质处理·····	(354)
二、地面水处理·····	(354)
三、含油污水处理·····	(355)
四、清水脱氧处理·····	(360)
第三节 注水地面工程·····	(367)
一、注水站·····	(367)
二、注水泵机组·····	(368)
三、注水管道·····	(376)
四、配水管网形式·····	(380)
第四节 注水工艺·····	(381)
一、分层注水工具及管柱·····	(381)
二、分层配水技术·····	(394)
三、注水井分层测试技术·····	(395)
四、注水井的试注与转注·····	(402)
五、注水管线的冲洗和注水井的洗井·····	(403)
六、分层注水井下管柱故障判断·····	(404)
七、注水系统常用指标计算·····	(405)
参考文献·····	(409)
第五章 压裂酸化技术·····	(410)
第一节 概述·····	(410)
第二节 水力压裂的油藏工程基础·····	(411)

一、单井水力压裂的增产作用及其效果预测方法	(411)
二、单井水力压裂的优化基础	(415)
三、整体压裂对低渗油藏开发的作用	(417)
第三节 水力压裂力学	(424)
一、地应力场	(424)
二、岩石力学参数	(426)
三、水力压裂造缝	(427)
四、裂缝中支撑剂的输送	(428)
五、水力裂缝数值模拟	(428)
第四节 压裂液	(431)
一、水基压裂液体系	(431)
二、泡沫压裂液系统及其添加剂	(439)
三、油基压裂液系统及其添加剂	(443)
四、乳化压裂液系统及其添加剂	(443)
五、其他压裂液	(444)
第五节 支撑剂	(446)
一、支撑剂分类	(446)
二、支撑剂物理性能	(446)
三、支撑裂缝导流能力的影响因素分析	(449)
第六节 压裂设计与实施	(453)
一、压裂设计	(453)
二、实施质量控制与压后评估	(459)
第七节 酸化原理	(465)
一、酸化工艺类型	(465)
二、酸液与地层岩石的化学反应	(466)
第八节 酸液及添加剂	(468)
一、酸液类型及选择	(469)
二、酸液添加剂	(474)
三、酸液体系配方及适用性	(477)
第九节 酸化工艺技术	(479)
一、碳酸盐岩基质酸化	(479)
二、砂岩基质酸化	(479)
三、暂堵酸化	(481)
四、分层酸化	(481)
五、闭合酸化	(482)
六、前置液酸压	(483)
七、多级注入酸压闭合酸化工艺技术	(484)
八、水平井酸化技术	(484)
九、水井增注酸化	(484)
十、冻胶酸带砂压裂	(485)

第十节 酸化评价、设计与监测	(485)
一、酸化效果评价	(485)
二、酸化施工设计	(486)
三、酸化施工检测技术	(491)
第十一节 高能气体压裂	(493)
一、高能气体压裂机理	(493)
二、火药压力发生器的结构	(495)
三、高能气体压裂适用范围及施工条件	(496)
四、高能气体压裂设计	(498)
五、高能气体压裂测试与评价	(503)
参考文献	(506)
<b>第六章 油田调剖、堵水技术</b>	<b>(508)</b>
第一节 调剖、堵水技术处理目标的筛选	(508)
一、筛选决策的主要内容	(508)
二、筛选方法和计算	(508)
第二节 油田堵水、调剖化学剂	(517)
一、沉淀型无机盐类堵水、调剖化学剂	(517)
二、聚合物冻胶类堵水、调剖化学剂	(518)
三、颗粒类堵水、调剖化学剂	(520)
四、泡沫类堵水、调剖化学剂	(521)
五、树脂类堵水、调剖化学剂	(521)
六、微生物类堵水、调剖化学剂	(521)
七、其他类堵水、调剖化学剂	(522)
第三节 设计和施工技术	(530)
一、测井和测试技术	(530)
二、示踪剂注入和解释技术	(534)
三、优化工程设计技术	(534)
四、施工工艺技术	(537)
五、注入设备和流程	(538)
第四节 弱冻胶深部调剖和液流转向技术	(539)
一、弱冻胶组成	(539)
二、弱冻胶的作用机理	(540)
三、注入程序	(540)
第五节 机械调剖、堵水技术	(541)
一、施工准备	(541)
二、施工要求	(541)
三、投捞测试作业	(542)
四、注水井细分注水调整剖面工艺管柱	(542)
第六节 堵水、调剖效果的评估	(543)
一、增油、降水效果的评估	(543)

二、增加可采储量评估	(544)
三、提高采收率评价	(545)
四、吸水剖面改善效果评价	(545)
五、产液剖面改善状况评价	(545)
六、投入产出比的计算	(545)
参考文献	(546)
<b>第七章 热力采油</b>	(548)
<b>第一节 概述</b>	(548)
一、稠油分类	(548)
二、稠油油藏一般地质特征	(549)
三、稠油开采方法简述	(552)
<b>第二节 稠油油藏流体、岩石的热物理特性</b>	(552)
一、水蒸汽的热物理特性	(552)
二、原油的热物理特性	(558)
三、油藏岩石的热物理特性	(561)
<b>第三节 油层加热过程及热损失计算方法</b>	(566)
一、油层加热机理	(566)
二、油层加热计算方法	(567)
三、热损失计算	(571)
<b>第四节 蒸汽吞吐开采</b>	(582)
一、蒸汽吞吐开采机理	(582)
二、油藏地质条件对蒸汽吞吐开采的影响	(583)
三、注汽参数对蒸汽吞吐开采的影响	(587)
<b>第五节 蒸汽驱开采</b>	(590)
一、蒸汽驱采油机理	(590)
二、蒸汽驱油藏筛选	(592)
三、蒸汽驱采油注采参数优选	(602)
四、蒸汽驱实施策略	(607)
<b>第六节 稠油油藏水平井蒸汽辅助重力泄油 (SAGD)</b>	(611)
一、蒸汽辅助重力泄油的基本概念	(611)
二、蒸汽辅助重力泄油解析模型	(612)
三、影响 SAGD 效果的油藏地质参数	(613)
四、SAGD 注采工艺参数设计	(616)
五、SAGD 实施过程	(618)
<b>第七节 注蒸汽热采主要工艺技术</b>	(619)
一、提高蒸汽吞吐效果技术	(620)
二、高效井筒隔热、套管防护及检测技术	(621)
三、分注选注技术	(626)
四、化学剂增油助排技术	(629)
五、封堵调剖技术	(632)

六、高温监测技术·····	(638)
第八节 注蒸汽采油专用设备·····	(641)
一、蒸汽发生器·····	(641)
二、水处理设备·····	(643)
三、燃烧器·····	(644)
第九节 高凝油油藏开采·····	(644)
一、高凝油油藏流体特性·····	(644)
二、温度对流变特性的影响·····	(646)
三、温度对渗流特征的影响·····	(648)
四、注水温度对水驱油效率的影响·····	(650)
五、高凝油油藏开发方式优化设计·····	(654)
六、高凝油开采的人工举升工艺技术·····	(656)
参考文献·····	(664)
第八章 防砂、油井清蜡与防蜡、腐蚀与防腐、防垢·····	(666)
第一节 防砂·····	(666)
一、概述·····	(666)
二、绕丝筛管砾石充填防砂技术·····	(672)
三、滤砂管防砂技术·····	(699)
四、化学防砂技术·····	(703)
五、割缝衬管防砂技术·····	(707)
六、防砂技术的新发展·····	(709)
第二节 油井清蜡与防蜡·····	(711)
一、油井清蜡与防蜡技术概述·····	(711)
二、油井清、防蜡技术·····	(716)
第三节 腐蚀与防护·····	(732)
一、金属腐蚀原理·····	(732)
二、油气田腐蚀环境·····	(735)
三、采油工程中的腐蚀控制·····	(744)
第四节 防垢与除垢·····	(761)
一、油田垢的分布与成因·····	(761)
二、油田结垢的预测·····	(766)
三、防垢与除垢·····	(773)
参考文献·····	(785)

# 第一章 采油工程基础

## 第一节 油层敏感性评价

保护油气层是石油勘探开发过程中的重要技术措施之一。开发全过程的系统保护油层是关系到油田开发效果的关键技术。钻井、完井、采油、注水、修井作业及增产增注措施等油田开发所采取的一系列工程技术措施中，如果能实现有效的系统保护油层，就会减轻油层伤害，充分发挥油层潜能，减少为解除油层伤害的作业工作量，从而提高油田开发效益。系统保护油层主要包括：

- (1) 钻井、固井过程中的油层保护；
- (2) 射孔、修井作业中的油层保护；
- (3) 增产措施中的油层保护；
- (4) 注水过程中的油层保护。

保护油气层技术主要包括以下八方面内容：

- (1) 岩心分析、油水分析和测试技术；
- (2) 油气敏感性和工作液伤害室内评价试验技术；
- (3) 油气层伤害机理研究和保护油气层技术系统方案设计；
- (4) 钻井过程中油气层伤害因素和保护油气层；
- (5) 完井过程中油气层伤害因素和保护油气层及解堵技术；
- (6) 油气田开发生产中的油气层伤害因素和保护油气层技术；
- (7) 油气层伤害现场诊断和矿场评价技术；
- (8) 保护油气层总体效果评价和经济效益综合分析技术。

上述八方面内容构成一项配套系统工程，每项内容是独立的，但彼此又是相关联的。所有的油层保护措施都是建立在油层岩性特征分析、岩心分析和入井流体的敏感性试验及对可能造成油层伤害的主要因素进行分析的基础上。本节主要介绍为保护油层进行的岩心分析和油层敏感性评价。

### 一、保护油层的岩心分析

#### 1. 岩心分析的内容

岩心分析技术是指利用能揭示岩石本质的各种仪器设备来观测和分析油气层一切特性的技术总称。岩心代表了地下岩石，所以岩心分析是获取地下岩石信息的十分重要的手段。使用岩心进行多个项目的配套实验，有利于找出岩石各种性质间的内在联系，其主要内容见表1—1。

大量的研究成果表明，地层是否存在潜在的伤害问题主要取决于岩石的结构、岩石的矿物组成、胶结状况和胶结物、敏感性粘土矿物的类型、数量和所在位置。粘土矿物、含钙碳酸盐矿物和伴生的黄铁矿是最常见的、最容易引起地层伤害的矿物，见表1—2。

岩石学研究的主要手段是应用X射线衍射分析、薄片分析和扫描电子显微镜技术。根据岩石评价结果做出粘土矿物特征。岩石评价不仅对钻井、完井等作业流体的选择有重要意

表 1—1 岩心分析的内容

分析项目	总项目数	必做项目		选择分析项目	
		项目数	分析项目	项目数	分析项目
常规物性分析	9	3	(1) 空气渗透率 (2) 孔隙度 (3) 粒度	6	(1) 油、气、水饱和度 (2) 碳酸盐含量 (3) 相对渗透率 (4) 岩石视密度 (5) 全尺寸岩心物性分析 (6) 润湿性
岩矿分析	10	4	(1) 铸体薄片 (2) X 射线衍射 (3) 扫描电镜 (4) 电子探针或能谱	6	(1) 重矿物分析和鉴定 (2) 阴极发光 (3) 红外光谱 (4) 热分析 (5) 荧光分析 (6) 普通薄片
孔隙结构分析	5	3	(1) 铸体薄片图像分析 (2) 压汞法毛细管压力曲线 (3) 扫描电镜	2	(1) X 射线 CT 扫描 (2) 核磁共振 (NMR) 技术
敏感性分析及配伍性评价	16	7	(1) 煤油速敏 (2) 地层水速敏 (3) 水敏 (4) 盐敏 (5) 碱敏 (6) 酸敏 (7) 入井流体与地层流体配伍性评价	9	(1) 钻井液伤害评价 (2) 正、反向流动试验 (3) 体积流量评价试验 (4) 顺序接触流体评价试验 (5) 阳离子交换试验 (6) 膨胀率试验 (7) 酸溶失量试验 (8) 酸浸泡试验 (9) 离心机法毛细管压力曲线评价地层伤害

表 1—2 可能发生地层伤害的矿物

水敏性	绿泥石/蒙脱石 伊利石	伊利石/蒙脱石 蒙脱石 (微晶高岭土)
酸敏性 (HEI)	鲕绿泥石 绿泥石 (富铁) 绿泥石/蒙脱石 白云石 (富铁)	海绿石 赤铁矿 黄铁矿 菱铁矿
酸敏性 (HEF)	石灰石 白云岩	硅酸盐矿物
垢	石膏、重晶石、水镁石 石灰石、天青石	岩盐、赤铁矿、磁铁矿 菱铁矿、硫铁矿
“微粒”运移	伊利石、高岭石	硅酸盐矿物
出“砂”	成岩矿物	

义，而且对电测解释、科学的评价和开发油气田有重要意义。图 1—1 列出了岩心分析实验的基本程序。

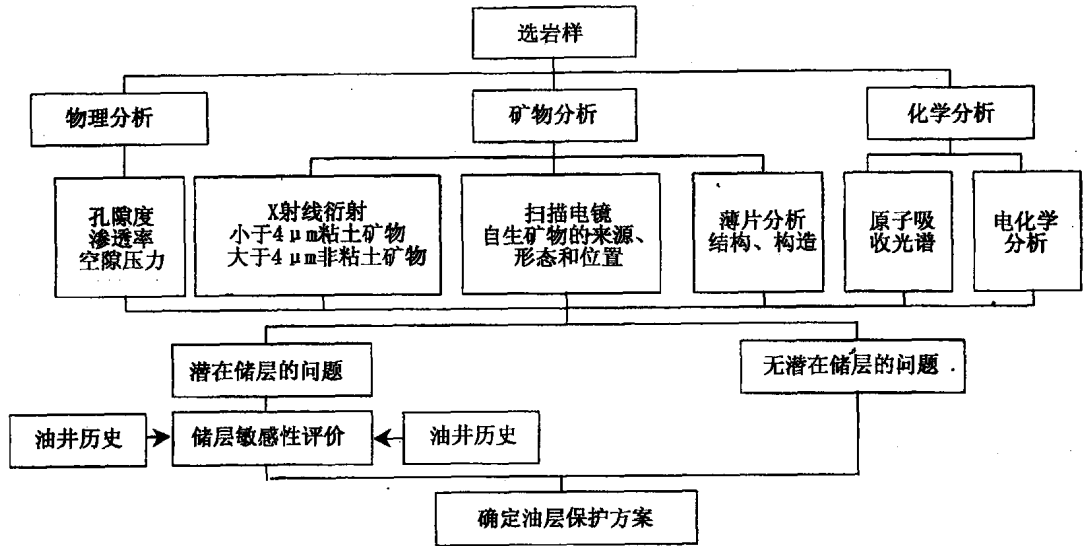


图 1—1 岩心分析实验程序

## 2. 岩心分析结果及应用

岩心分析结果及应用见表 1—3。

表 1—3 岩心分析所获资料及应用

主要分析项目	所获的主要资料	主要应用要点
(1) 常规物性分析 (孔、渗透测定及筛析)	孔隙度、渗透率、地层砂粒度分布	(1) 油气层评价、储量计算、开发方案设计 (2) 完井方法的选择、完井液设计、完井设计
(2) 孔隙结构分析 (铸体薄片及孔隙铸体、毛细管压力曲线测定)	孔隙类型、孔隙结构特征、孔隙直径、喉道直径大小及分布等	(1) 油气层评价、储量计算、开发动态分析 (2) 制定保护油气层技术方案 (3) 屏蔽式暂堵技术的设计
(3) 薄片分析 (普通偏光薄片、铸体薄片、荧光薄片和阴极发光薄片)	岩石结构及构造、骨架颗粒的成分、基质成分及分布、胶结物类型及分布、孔隙特征、敏感性矿物的类型、含量、产状等	(1) 油气层评价、岩石学特征 (2) 制定保护油气层技术方案 (3) 完井液的设计
(4) 扫描电镜分析	孔、喉特征分析、岩石结构分析和粘土矿物分析	(1) 油气层评价 (2) 完井液设计及保护油气层技术方案的设计
(5) X射线衍射分析	粘土矿物的基本性质、绝对含量、粘土矿物类型及相对含量	完井液的设计及保护油气层技术方案的设计
(6) 电子探针分析 (电子探针波谱及能谱)	矿物鉴定、晶体结构分析、成岩演化、成岩环境、地层损害类型及程度的推测	完井液的设计及保护油气层技术方案的设计

## 二、油层敏感性评价

油层敏感性分析，主要是通过岩心流动实验考察油层岩石与外来流体接触后所发生的各



种物理化学作用对岩石性质，主要是对渗透率的影响及其程度。由于油层岩石敏感性影响开发全过程，在采油工程方案设计中，必须对油层岩石进行系统的敏感性实验，以便为油层保护提供可靠的科学依据。

### 1. 油层伤害及其敏感性

绝大多数油层，总是或多或少地含有敏感性矿物，它们一般粒径很小，往往分布在孔隙表面和吼道处，处于与外来流体优先接触的位置。由于敏感性矿物的物理和化学性质稳定区间狭小，在完井作业中，当各种外来流体侵入油层后，最容易与岩石中的某些矿物及其所含流体发生各种物理和化学作用，从而降低油井的生产能力或吸水能力，即发生油层伤害。伤害的程度可用渗透率下降幅度来表示。

油层伤害主要表现在速敏、水敏、盐敏、碱敏和酸敏五个方面。不同的敏感性矿物对油层伤害方式不同。为防止或减小敏感性矿物对油层伤害，在油田开发之前，须对油层岩石进行敏感性分析评价实验。

### 2. 速敏评价实验

#### 1) 速敏概念及实验目的

速度敏感性简称速敏，是指在钻井、采油、注水及增产作业过程中，在流体流动产生的压力波动等外力作用下将储集层空隙中的粒间和粒表附着的微粒剥落，并将这些微粒携带在孔隙喉道，形成桥堵致使渗透率降低的现象。对某一特定的油层来说，由于微粒运移造成的油层伤害，主要与流体的流动速度有关。因此，速敏评价实验的目的在于找出由于流速作用导致微粒运移从而发生伤害的临界速度，以及找出不同流速下，引起油层伤害的程度。

在确定了临界流速后，在做其他敏感性实验时，为了防止实验过程中产生速敏伤害，实验流速可定为 0.8 倍临界流速。

速敏评价实验是非常重要的，它既为确定合理的注采速度提供科学依据，又为水敏、盐敏、碱敏和酸敏等敏感性实验确定合理实验流速提供依据。

#### 2) 速敏评价实验方法及评价指标

用不同的注入速度向岩心中注入实验流体（煤油或地层水），并测得各个注入速度下岩心的渗透率，从注入速度与渗透率的变化关系上，判断岩心对流速的敏感性，并从中找出渗透率明显下降的临界流速。

速敏产生条件是：如果流量  $Q_{i-1}$  对应的渗透率  $K_{i-1}$  与  $Q_i$  对应的渗透率  $K_i$  满足公式：

$$\frac{K_{i-1} - K_i}{K_{i-1}} \geq 0.05 \text{ 说明已发生速敏。}$$

速敏伤害程度用  $\frac{K_{\max} - K_{\min}}{K_{\max}}$  值的大小衡量，伤害程度的标准如表 1—4。

式中  $K_{\max}$ ——所有流速下各渗透率点中的最大值；

$K_{\min}$ ——所有流速下各渗透率点中的最小值。

表 1—4 速度敏感程度评价指标

伤害程度	$\leq 0.3$	0.3~0.7	$\geq 0.7$
敏感程度	弱	中等	强

以某油田 IV 砂组的实验数据（表 1—5）为例，流量为 0.25ml/min 时满足速敏产生的条