

天然气

地下储气库注采技术

赵树栋 王皆明 主编

石油工业出版社

天然气地下储气库注采技术

赵树栋 王皆明 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是在“天然气地下储气库注采技术研究”课题完成的基础上编著而成,研究内容涉及面广、技术含量高,在国内尚属首次,并结合国外先进技术,填补了国内在该项研究领域的空白。

本书主要研究内容是通过对比别古庄油田京 58 断块油气藏地质、油气藏工程、地面工程、钻井完井工艺和注采气工艺技术等方面的系统研究,形成了一套建设天然气地下储气库的理论方法及其技术规范,为今后建设地下储气库提供了可靠的理论依据和技术保障。

本书适用于从事油气田开发、地下储气库研究、技术管理及科技研究人员。

图书在版编目(CIP)数据

天然气地下储气库注采技术/赵树栋,王皆明主编.
北京:石油工业出版社,2000.9

ISBN 7-5021-3048-9

I. 天…

II. ①赵…②王…

III. ①地下储气库-注天然气②地下储气库-天然气开采

IV. TE822

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 65633 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)

北京密云林地印刷厂排版

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 21.75 印张 535 千字 印 1—1500

2000 年 9 月北京第 1 版 2000 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-3048-9/TE·2345

定价: 30.00 元

《天然气地下储气库注采技术》编委会

主 任：苏 俊

副主任：赵树栋

编 委：(按姓氏笔划为序)

于元钦 王 莉 王 虹 王风田 王绍淮 王皆明 王根久

王益山 叶红军 叶连池 布 丛 刘纯山 孙春良 朱亚东

张玉田 张亚彬 张继春 李长庆 李向齐 李树清 李振龙

杜 健 杨伟荣 杨服民 杨荣保 林建品 翁维珑 郭希波

高 珉 曹雪洪 梁 静 智玉杰 韩振强 雷 鸣 蔡春知

赫恩杰 潘 峰 潘卫国 魏国彪 魏志刚 魏艳梅

主 编：赵树栋 王皆明

《天然气地下储气库注采技术》编写及技术审核人员名单

篇	编写人	技术审核人
第一篇	赫恩杰 张继春 王皆明 杜 健 韩振强 布 丛	赵树栋
第二篇	张继春 郭希波 班彦红	高 珉
第三篇	林建品 雷 鸣 黄琪莲 魏艳梅	叶连池 魏国彪
第四篇	王皆明 王 莉 张 辉	高 珉 赫恩杰
第五篇	王皆明 王 虹 魏国彪	朱亚东 赫恩杰
第六篇	韩振强 曹雪洪 王益山	潘卫国
第七篇	杜 健 智玉杰 张亚彬	李向齐 雷 鸣
第八篇	翟 峰 王风田 布 丛 钟小霞	李振龙 张振庭
第九篇	叶红军 谢 俊 吴行才	赫恩杰

序 言

随着我国石油天然气工业的发展,天然气作为一种洁净的能源日益受到广泛的重视,从我国天然气用气量结构特点及供气状况出发,为实现天然气资源合理利用和最佳配置,满足安全平衡供气,最大限度地提高天然气田开发建设效益,建设地下储气库势在必行,在集团公司领导下,从1992年开始,我局工程技术人员在冀中北部油气藏精细研究评价的基础上,先后完成了“北京地区建设地下储气库预可行性研究”、“天然气地下储气库可行性研究”、“天然气地下储气库注采技术研究”。为完成上述研究成果,我们进行了大量的室内和矿场试验,同时开展了大量国外情报调研,并同俄罗斯天然气研究院、法国索非天然气公司就地下储气库开发建设进行了广泛的技术交流。这些成果的取得,为我国天然气地下储气库建设工程的实施奠定了坚实基础。它主要解决了:

- 库址筛选与评价研究方法;
- 地下储气库油气藏描述及建模技术;
- 地下储气库油气藏工程及方案设计优化研究方法;
- 不同类型油气藏地下储气库钻井、完井工艺方法;
- 地下储气库注采气工艺及动态监测技术;
- 地下储气库地面注采气工艺流程设计方法;
- 地下储气库经济评价研究方法。

建设天然气地下储气库技术在国际上已趋于成熟和完善,世界天然气工业发达国家和天然气消费大国都建成了与天然气需求相配套的地下储气库系统。据不完全统计,截至1993年世界已建成554座地下储气库。其中,美国386座,加拿大38座,西欧66座,东欧63座,总库容量达 $5012 \times 10^8 \text{m}^3$,工作气达 $2431 \times 10^8 \text{m}^3$ 。我国建设地下储气库工作刚刚起步,可以预言,随着我国石油天然气工业发展,地下储气库的开发与建设也将步入矿场实施阶段。这次出版的《天然气地下储气库注采技术》是在历年研究工作的基础上,以京58气顶油藏为研究对象,对建库技术进行论证和分析,并以论文集的形式汇总成册。就其研究目标虽有一定局限性,但只要对我国地下储气库建设工作有一定借鉴和参考作用,也就达到了我们出版的目的了。

相信通过地下储气库建设的实施及运行,我国地下储气库技术也将不断成熟和完善,而且在满足天然气供需平衡,保证安全平衡供气方面起到愈来愈重要的作用。

赵树栋
1994年11月

前 言

天然气地下储气库是城市天然气输配系统工程中的重要组成部分，是季节和安全调峰，确保安全平稳供气的重要工程；能够比较好地解决城市用气的不均匀性，起到季节调峰作用；同时还可兼作应急后备气源之用。

“八五”期间，华北油田对北京地区建设天然气地下储气库的可行性研究工作取得了丰硕的研究成果，受到了中国石油天然气集团公司领导及有关专家的高度评价。在此基础上，为把地下储气库的研究进一步推向深入，并为地下储气库的方案设计及建库实施作准备，总公司于1996年底下达了“九五”重点科技工程项目“天然气地下储气库注采技术研究”，经过两年时间的研究，结合国外先进技术，初步形成了一套建设地下储气库的地质及油气藏工程、钻井与完井、注采气工艺与监测、地面工艺技术 etc 相配套的理论方法及其技术规范。本书主要是历年来研究建设地下储气库技术的成果汇编，涉及面广，技术含量高，在国内尚属首次，为今后建设地下储气库正式方案的编制和实施提供了技术上的保障。

本书是在华北石油管理局总地质师赵树栋同志的倡导下组织编写的，同时为本书撰写了序言。在“天然气地下储气库注采技术研究”项目研究过程中，受到了总公司开发生产局孟慕尧、王怀孝、李海平、冉新全等有关专家的大力支持，他们都提出了许多宝贵意见。在此深表谢意。

由于参加编写工作的人员水平有限，加上时间仓促，书中难免有许多不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者
1999年10月

目 录

第一篇 总 论

第一章 京 58 气顶油藏地质特征简述	(3)
第一节 地质概况	(3)
第二节 地层、油组及小层划分	(3)
第三节 构造及断层特征	(3)
第四节 盖层封闭性及隔层分隔作用	(5)
第五节 储层特征及油气层分布	(5)
第六节 油藏压力、温度及流体性质	(6)
第七节 流体分布及油气藏类型	(6)
第八节 油气藏原始地质储量和储层容积计算	(8)
第二章 京 58 气顶油藏改建地下储气库油气藏工程研究	(9)
第一节 油环开采特征分析	(9)
第二节 气顶产能分析及储量评价	(12)
第三节 气顶油藏改建地下储气库方案设计	(19)
第四节 方案优选及推荐方案部署	(24)
第五节 改建地下储气库油环合理开采方式研究	(28)
第三章 京 58 气顶油藏地下储气库注采气井工艺技术	(32)
第一节 储气库注采气井完井技术研究	(32)
第二节 注采气井管柱油管受力分析及优化设计	(35)
第三节 地下储气库对监测系统的技术要求及关键因素分析	(37)
第四章 京 58 气顶油藏地下储气库地面工艺技术	(38)
第一节 注采气干线设计	(38)
第二节 采气地面工艺流程的选择	(39)
第三节 注采气站工艺流程设计	(39)
第四节 注气关键设备及选型	(40)
第五章 改建地下储气库工程经济评价	(41)
第一节 经济评价参数的确定	(41)
第二节 投资估算	(41)
第三节 注采气成本和费用估算	(45)
第四节 运行方案优选	(45)
第五节 推荐方案总体评价	(46)
第六章 结论和建议	(48)
第一节 结论	(48)
第二节 建议	(49)

第二篇 京 58 断块改进地下储气库油气藏地质特征综合研究

第七章 地层及目的层段油组细分	(53)
第一节 地层层序及特征	(53)
第二节 油层组对比及划分	(54)
第八章 构造特征描述	(56)
第一节 构造圈闭形态及要素	(57)
第二节 主要断裂体系及特征	(58)
第九章 盖层及断层的封闭性研究	(59)
第一节 盖层条件	(59)
第二节 断层的封闭性研究	(60)
第三节 结论	(61)
第十章 储层参数测井综合评价	(62)
第一节 测井数据标准化	(62)
第二节 “四性”关系研究及参数解释模型建立	(63)
第三节 多井数字处理与储层参数综合评价	(66)
第十一章 储层特征综合研究	(68)
第一节 储层岩石学特征	(68)
第二节 宏观物性及非均质特征	(68)
第三节 灰层与隔层特征研究	(70)
第四节 成岩演化及微观孔隙结构体系	(76)
第五节 油气层分布特征	(82)
第十二章 油藏参数、油藏类型及储气库容积计算	(84)
第一节 油藏压力与温度	(84)
第二节 流体性质	(84)
第三节 流体分布及油气藏类型分析	(85)
第四节 油气藏原始地质储量及储气库容量计算	(87)
第十三章 油气藏地质模型构成与应用	(90)
第一节 引言	(90)
第二节 京 58 断块油气藏三维地质模型系统组成	(90)
第三节 模型的数据录入与管理	(91)
第四节 软件的运行环境	(91)
第五节 模型的实际应用效果	(91)
第十四章 主要认识与结论	(92)

第三篇 油环开采特征研究

第十五章 京 58 断块油环开采特征研究	(95)
第一节 油环开采简况	(95)
第二节 京 58 断块油环开采特征分析	(96)

第四篇 气顶开采特征研究

第十六章	京 58 断块气顶开采特征研究	(133)
第一节	气层不稳定试井资料分析及解释	(133)
第二节	地层流体相态特征研究	(141)
第三节	气层产能分析与评价	(151)
第四节	气顶动态储量预测与评价	(160)
第五节	结论	(162)

第五篇 改建地下储气库油藏工程研究

第十七章	京 58 气顶油藏改建地下储气库油气藏工程研究	(167)
第一节	数值模拟地质模型的建立	(167)
第二节	改建地下储气库方案部署基本原则	(177)
第三节	改建地下储气库对比方案设计	(179)
第四节	储气库对比方案指标预测及优选	(184)
第五节	京 58 气顶油藏改建地下储气库初步方案部署	(194)
第六节	结论与建议	(215)

第六篇 钻井完井技术研究

第十八章	钻井工程地质特性研究	(219)
第一节	地层层序及岩性	(219)
第二节	已钻井基本情况	(219)
第三节	地层压力系统研究	(220)
第四节	地层岩石强度及可钻性研究	(223)
第十九章	完井方法和井身结构设计研究	(225)
第一节	完井方法设计	(225)
第二节	井身结构设计	(228)
第二十章	钻井(完井)液技术研究	(232)
第一节	钻井(完井)液设计应考虑的因素	(232)
第二节	钻井(完井)液体系设计	(232)
第三节	分段钻井液配制及处理	(233)
第二十一章	固井完井工艺技术研究	(235)
第一节	注采气井套管管柱强度设计研究	(235)
第二节	注采井生产套管螺纹及套管螺纹密封脂应用研究	(237)
第三节	注采气井水泥浆体系设计研究	(239)
第四节	下套管工艺设计	(241)
第五节	注水泥方案设计	(242)
第二十二章	旧井井身质量检测及修井完井技术研究	(247)
第一节	京 58 气顶油藏旧井现状	(247)
第二节	旧井井身质量检测方法研究	(251)

第三节	京 58 气顶油藏旧井修井完井技术研究	(256)
第四节	京 58 井井身质量检测作业现场实施报告	(258)
第五节	京 58 井井下电视测井现场实施报告	(263)
第六节	京 58 井 CBL 测井现场实施报告	(265)

第七篇 注采气工艺及监测技术研究

第二十三章	储气库注采气井完井设计的一般原则和必备的技术条件	(271)
第一节	注采气井完井设计的一般原则	(271)
第二节	完井必备的技术条件	(271)
第三节	选择注采气井井口的原则	(271)
第四节	注采气井工艺管柱选配的一般原则	(272)
第二十四章	地下储气库注采气井完井工艺	(273)
第一节	注采气井完井管柱受力分析计算	(273)
第二节	井口压力及井口设备的确定	(274)
第三节	生产安全控制系统	(275)
第四节	注采气井完井管柱油管的选择	(276)
第五节	注采气井完井工艺管柱	(279)
第二十五章	动态监测技术	(283)
第一节	国内外储气库动态监测技术现状	(283)
第二节	地下储气库的主要监测内容及关键因素	(283)
第三节	储气库动态监测主要仪器及设备	(284)
第四节	测井工艺	(287)

第八篇 京 58 地下储气库地面注采系统技术研究

第二十六章	总则及基础数据	(291)
第一节	研究依据	(291)
第二节	研究原则	(291)
第三节	研究目的及意义	(291)
第四节	开发方案要点及主要开发数据	(291)
第五节	设计基础数据	(294)
第六节	设计范围及工程概述	(294)
第七节	引用标准及规范	(295)
第二十七章	地理位置及地面建设现状	(296)
第一节	地理位置	(296)
第二节	地面建设现状	(296)
第二十八章	永清←→京 58 注采气站输气管线	(297)
第一节	设计参数	(297)
第二节	线路选线原则	(297)
第三节	路由	(297)
第四节	管线沿途自然地理概况	(298)

第五节	输气工艺	(298)
第六节	管材选择	(298)
第七节	线路工程	(299)
第八节	管线防腐	(300)
第九节	管线焊缝的检验与试压	(300)
第二十九章	集注气管网	(301)
第一节	设计参数	(301)
第二节	集气工艺	(301)
第三节	注采气井口	(302)
第四节	集注气管网	(302)
第五节	辅助系统	(303)
第三十章	京 58 注采气站	(304)
第一节	设计参数	(304)
第二节	站址确定	(304)
第三节	工艺方案的确定	(305)
第四节	推荐方案工艺流程简述	(306)
第五节	主要工艺设备选型	(308)
第六节	平面布置及总图	(308)
第七节	设备、管线防腐保温结构	(309)
第八节	公用工程及辅助系统	(310)
第三十一章	环境保护	(315)
第一节	主要污染源及污染物	(315)
第二节	污染防治措施	(315)
第三十二章	防火	(316)
第三十三章	主要工程量及主要技术经济指标	(317)
第一节	主要工程量及投资估算	(317)
第二节	主要消耗指标	(318)
第三节	工程总投资	(318)

第九篇 经济评价研究

第三十四章	京 58 气顶油藏概况	(321)
第三十五章	经济评价的意义	(322)
第三十六章	经济评价模型	(323)
第一节	评价指标的筛选	(323)
第二节	经济评价模型的建立	(323)
第三十七章	经济评价方法	(325)
第一节	经济评价参数的确定	(325)
第二节	投资估算	(325)
第三节	注采气成本和费用估算	(326)
第四节	销售收入计算	(328)

第五节	销售税金及附加计算	(328)
第六节	企业所得税计算	(328)
第七节	利润的计算及分配	(329)
第八节	财务盈利能力分析	(329)
第三十八章	运行方案优选	(330)
第三十九章	推荐方案总体评价	(332)
第一节	经济评价结果.....	(332)
第二节	敏感性分析.....	(332)
第三节	结论与建议.....	(333)

第一篇 总 论

第一章 京 58 气顶油藏地质特征简述

第一节 地质概况

京 58 断块地处河北省永清县韩村乡南朝王村,构造位置位于廊—固凹陷河西务断裂构造带南端,距北京市 70km。

该断块自 1989 年京 58 井在沙四上段获工业油流后,进行产能建设,截至到目前,共完钻探井 5 口,评价井 1 口,生产井 32 口,其中试油井 36 口,获工业油流井 34 口,工业气井 1 口,产水井 1 口。

该断块二维地震测网密度为 $0.4 \times 0.8\text{km}$,1990 年冬完成了三维地震工作,有两口井进行了取心(京 58—4、京 58—14 井),取心总进尺 91.64m,总岩心长 89.99m,总平均收获率 98.2%。

1989 年底该断块上报石油地质储量 $178 \times 10^4\text{t}$,天然气地质储量 $5.8 \times 10^8\text{m}^3$;1997 年 10 月针对该断块改建地下储气库的要求,重新复核石油地质储量 $241 \times 10^4\text{t}$,天然气地质储量 $5.8 \times 10^8\text{m}^3$ 。

第二节 地层、油组及小层划分

本区揭开地层自上而下分别是:第四系平原组,上第三系明化镇组,下第三系沙河街组的沙三、沙四段。

该断块沙四上段共划分 3 个油组。一、二油组划分为 5 个砂组 25 个小层,其中 I—IV 砂组为含油气的主力砂组共分为 18 个小层。三油组仅个别井含油未细分,见图 1—1。

第三节 构造及断层特征

京 58 断块为刘其营、京 65 断层所夹持的单斜断块构造,地层倾角 $10^\circ \sim 20^\circ$ 之间,构造高点沿刘其营断层断棱分布,高点埋深 1750m,溢出点在 1950m 左右,闭合幅度约 200m,闭合面积 1.15km^2 。

该断块受刘其营断层及京 65 井断层所控制,分别对沙四上段地层上倾方向起遮挡作用及侧向封堵作用,断层两侧的岩性关系均为上升盘的砂岩与下降盘沙三段泥岩对接,因此对本断块内的油气圈闭起到很好的侧向封堵作用。

该断块内部被 5 条次一级小断层(京 58—1、京 58—11、京 58—20、京 58—15 以及京 58—21 井断层)切割成 6 个大小不等的小断块,这些断层的断距一般都比较小,一般在 25~80m 之间,断层两侧在沙四段地层内部形成砂岩的对接关系,为开启性断层,对油气分布不起分割作用。

该断块的构造井位图见图 1—2。

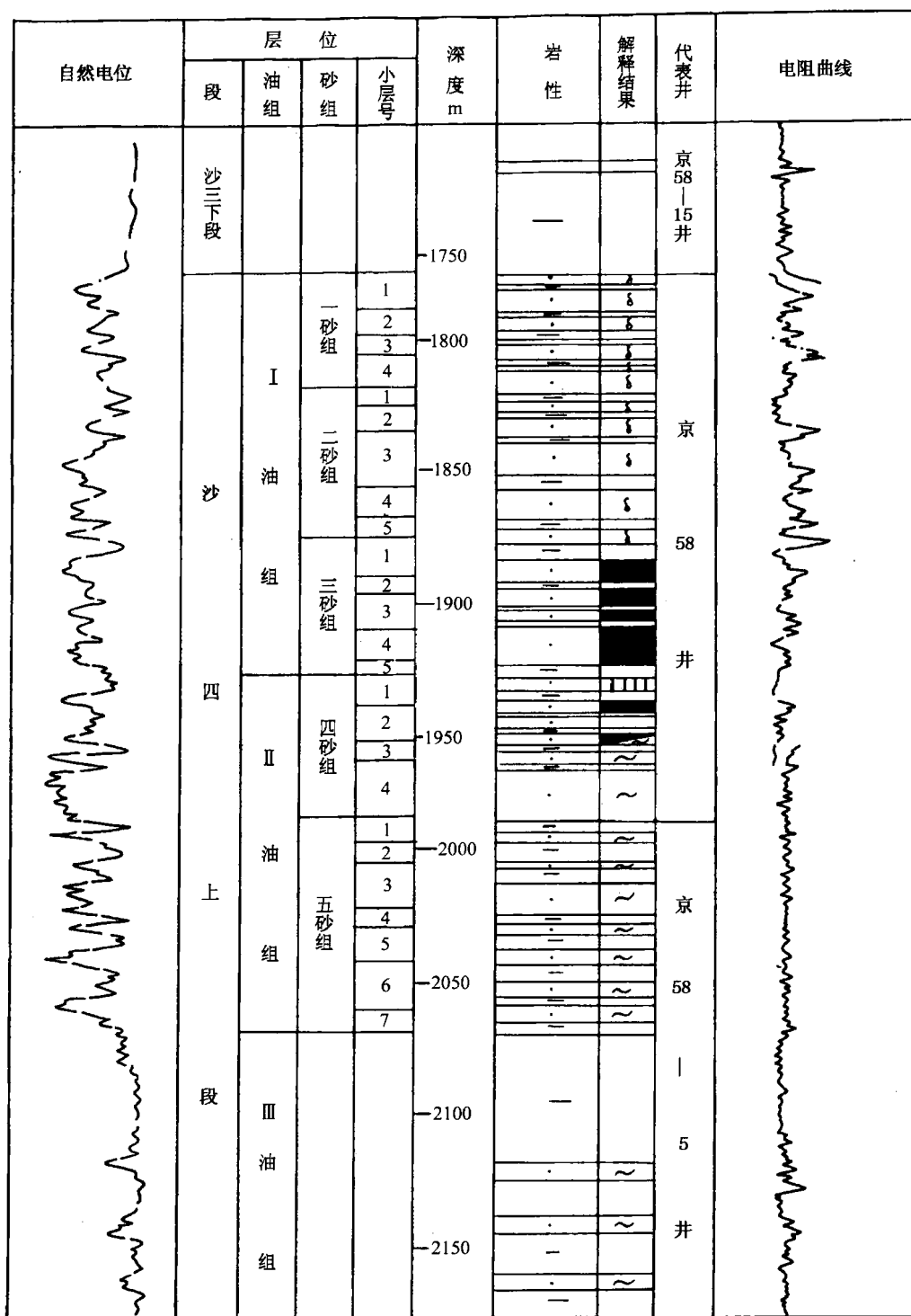


图 1—1 京 58 井断块综合柱状图

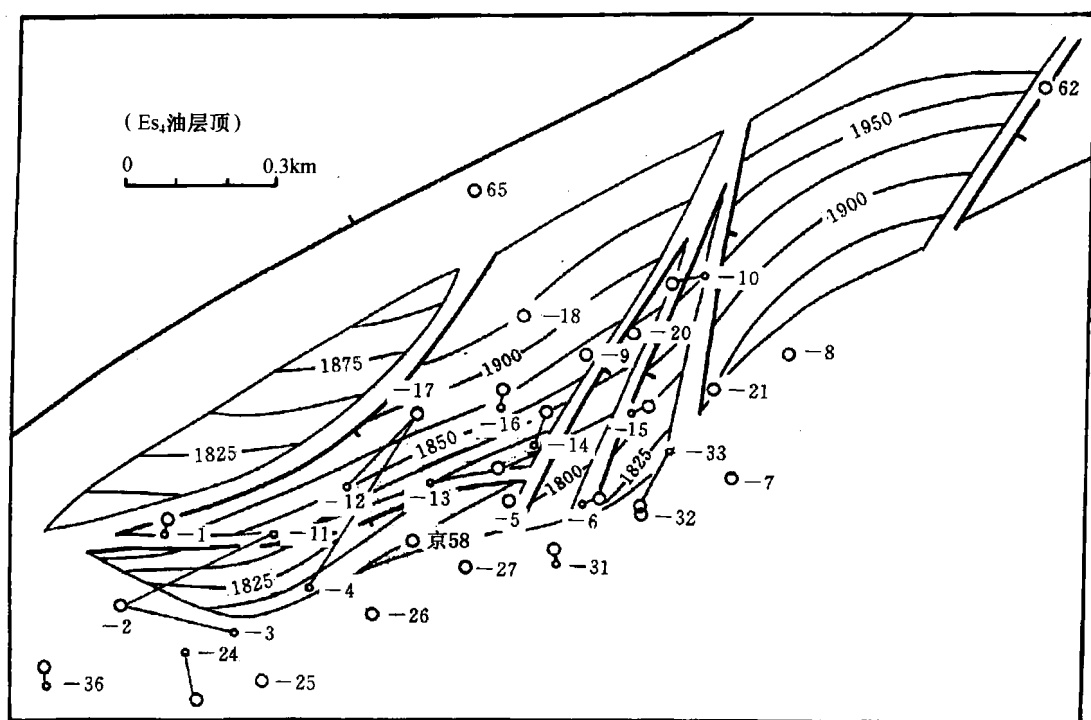


图 1—2 京 58 井断块构造井位图

第四节 盖层封闭性及隔层分隔作用

京 58 断块沙四上段圈闭的盖层为沙三下段地层，该段地层厚度约 300m，岩性除底部为厚约 60m 的钙质页岩和灰质白云岩等特殊岩性段外，几乎为纯泥岩。若加上沙三中段则沉积厚度近 800m，形成良好的天然气藏盖层，京 58 油气藏已经经历了长期的地史时期未遭到破坏，说明其盖层条件及盖层密封性是很好的。

该断块内部仅有 3 个相对稳定的泥岩隔层，分别分布在 I、II 和 II、III 及 III、IV 砂组之间，隔层厚度在 2~12m 之间，横向分布较稳定。泥岩中粘土矿物成分主要为高岭石，含砂量较低，在 10% 以下，总孔隙度小于 30%，最低突破压力在 1MPa 以上，最高达到 5.3MPa，反映具有一定的分隔作用。

然而由于内部开启性断层的存在，在一定程度上破坏了隔层横向分布的完整性和纵向分隔的有效性，并且伴随断裂作用。隔层中还发育了一定规模的细小裂缝，这些细小裂缝进一步沟通了隔层上、下流体的相互联系。因此内部断层及隔层细小裂缝的存在使局部的隔层出现流体上下垂向窜流的通道。

第五节 储层特征及油气层分布

京 58 断块储集砂体属陆相湖盆破坏型港湾三角洲环境下形成的近岸水下滩坝砂沉积体