

天然气工程丛书

采气工程

金忠臣 杨川东 张守良 等编著

石油工业出版社

天然气工程丛书

采 气 工 程

金忠臣 杨川东 张守良 等编著

石油工业出版社

内 容 提 要

《天然气工程丛书》共分8个分册,《采气工程》是其中之一。

本书内容包括采气工程的主要特点,气井完井工程技术和气井生产全过程的储层保护工艺技术,气井生产系统分析技术,采气工艺技术,低渗透气藏压裂酸化储层改造增产工艺技术,气井修井与井下作业工艺技术,气藏(井)动态监测工艺技术,天然气生产管理与安全环保技术,采气工程方案设计等,既从理论上阐明采气工程的基本理论,也介绍了采气工程的实用技术,以采气工程理论指导矿场实践。

本书可供从事气田开发、采气工程工作的研究人员及石油院校的相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

采气工程/金忠臣等编著.

北京:石油工业出版社,2004.12

(天然气工程丛书)

ISBN 7-5021-4902-3

I. 采…

II. 金…

III. 天然气开采

IV. TE37

中国版本图书馆(CIP)数据核字(2004)第133010号

采气工程

金忠臣 杨川东 张守良等编著

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里2区1号 100011)

网 址:www.petropub.cn

总 机:(010) 64262233 发行部:(010) 64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂印刷

2004年12月第1版 2004年12月第1次印刷

889×1194毫米 开本:1/16 印张:28.25

字数:850千字 印数:1—5000册

定价:125.00元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

《天然气工程丛书》

编 委 会

主 任 黄 炎

副主任 王乃举 刘宝和 胡文瑞 夏鸿辉 魏宜清

茹 克 王志刚

成 员(以姓氏笔画为序)

马新华 王全生 王道富 冉新权 孙龙德 许可方

张卫国 李安琪 李海平 李鹭光 杜志敏 宋顺琼

沈 琛 孟慕尧 金忠臣 胡朝元 黄立功 阎存章

编辑组成员

组 长 孟慕尧

组 员 冉新权 张卫国 戚玥瑛

《天然气工程丛书·采气工程》

编 写 组

主 编 金忠臣

副 主 编 杨川东 张守良

技术顾问 刘同斌

成 员 周 堤 杨重光 孙万里 李联奎 雷 群

马发明 卢富国 杨 涛

序一

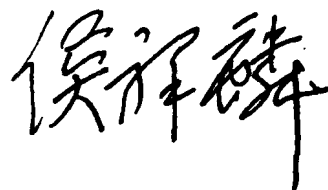
近年来，我国天然气工业取得了很大的发展，已逐步进入了工农业生产和日常生活的方方面面，成为国民经济生活中的重要内容。经过几代人的努力，我国目前已经初步形成了四川、塔里木、鄂尔多斯、柴达木和海洋在内的五大气区基本格局，建设了以“西气东输”为代表的一批陆地及海上输气干线。“西气东输”宏大建设工程的实施，不仅是落实“西部大开发”战略的重要举措，而且也是我国在天然气生产建设能力和技术等方面的综合体现，标志着我国天然气的发展进入了一个新的阶段。

经过几十年的生产实践，我国在天然气的勘探、开发、储运和综合利用等方面，已经积累了丰富的经验，技术达到了较高的水平。认真总结这方面的经验和技術，展示我国天然气工业的成就和进步，指导和促进技术水平的提高，是一件十分有意义的工作，本套丛书的编写实现了这一愿望。

《天然气工程丛书》是一套按系统工程要求编写的丛书，它全面系统地总结了我国历年来在天然气方面的实践经验和成果，借鉴了国外有关天然气方面的先进理论和技术。编著者大多来自多年从事现场和科学研究有经验的专家、学者，在编写方法上强调了科学、实用及可操作性的特点，并有相当部分实例可供借鉴，使丛书成为一部信息量大、内容充实、涉及面广、有一定理论深度的技术专著。

《天然气工程丛书》的出版，对我国天然气的勘探、开发和综合利用具有很大的技术指导 and 推动作用，在此我表示衷心地祝贺。藉该书出版之际，我祝愿广大的科技工作者不断创新，不断进步，为促进我国工业技术水平的提高和发展做出更大的贡献。

中国科学院院士
中国工程院院士



序二

在我担任中油股份公司总裁期间，油气田开发方面的几位老同志，建议编写出版一套“天然气工程丛书”，以适应我国天然气迅猛发展的需要，我非常赞同和支持这件事。

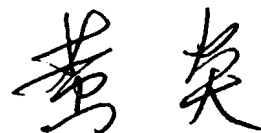
三年来，在中石油、中石化、中海油、石油院校等部门的数十名专家和上百名工程技术人员的辛勤努力下，克服了专业门类多、地域跨度大、编著人员不稳定等诸多困难，完成了丛书的编写出版任务。

本“丛书”的内容涵盖了全国各主要产气区，按照上下游一体化的总体思路，从资源勘探到综合利用，编辑为8个分册，约500万字。它凝结着我国从事天然气工作的几代人的辛劳和智慧，并把丰富的实践经验与近代科技进步相结合，是目前国内较为全面系统又有一定理论概括的系列丛书。

进入新世纪以来，我国天然气发展形势很好。预期在不久的将来，天然气在国民经济和社会生活中的地位和影响将越来越大，从事天然气工业的各个领域的工程和管理人员也将越来越多，他们迫切需要站在一个更高的起点上，了解和掌握比较系统的天然气技术；石油院校师生，也需要有更更新的教材。我认为丛书的出版，一定能够给予他们以有力的帮助，并为促进天然气勘探、开发、采气工程、气田建设、管道输送、天然气综合利用等技术的发展与创新做出贡献。

在“丛书”出版的时候，特向参与编著和出版的各位专家、教授、工程师及全体工作人员致以衷心的感谢！

丛书编委会主任
中国石油学会理事长



编 著 说 明

我国是世界上发现和利用天然气历史最悠久的国家之一。新中国成立以来，经过半个多世纪的努力，在天然气的勘探、开发、储运和综合利用等方面，积累了丰富的实践经验，有了一套适合于我国天然气工业发展特点的技术和理论。特别是“九五”、“十五”期间，天然气得到了迅猛发展，目前已初步形成四川、塔里木、鄂尔多斯、柴达木和海洋五大气区格局的天然气现代工业体系，“西气东输”——国家西部大开发战略序幕性工程的实施，标志着我国天然气的发展进入了一个新的阶段。

我国天然气的勘探和开发，有其自身的特点。气田的地质条件复杂，开采的技术难度较大，绝大多数气田的储层为低渗透、低孔隙，具有边、底水，非均质性严重；气田规模多为中小型且地域分散；有些主力气田含硫，这就使气藏工程、采气工程、地面工程及综合加工利用等，面临一系列技术难题。正是在这种复杂和困难的条件下，我国的科技人员，经历了多年的探索和实践，研究和利用新技术、新方法和新装置，加深了对我国天然气工业勘探、开发和加工基本规律的认识，发展了天然气上、下游工程，使我国天然气工业得到了迅速的发展。这些成就饱含着从事天然气工作的广大工程技术人员、生产经营管理者的辛劳和智慧。

国民经济的快速增长和天然气工业的大发展，要求我们必须系统总结我国天然气工业丰富的实践经验，同时借鉴国外天然气工业先进的理念与技术，编辑出版一套既有理论指导又有现实可操作性的科技论著，给这一方兴未艾的大好形势以有力的技术指导。

1999年，经中国石油天然气集团公司原开发生产局局长王乃举、总工程师孟慕尧和石油工业出版社张卫国等同志提议，成立“天然气工程丛书”编写筹备组，同时将这一想法向当时担任中国石油天然气股份有限公司总裁的黄炎作了汇报，得到了黄炎同志的大力支持，组建了“丛书”编委会。经与多方协商，由黄炎担任编委会主任，王乃举、刘宝和、胡文瑞、夏鸿辉、魏宜清、茹克、王志刚任编委会副主任；编委有：马新华、王全生、王道富、冉新权、孙龙德、许可方、张卫国、李安琪、李海平、李鹭光、杜志敏、宋顺琼、沈琛、孟慕尧、金忠臣、胡朝元、黄立功、阎存章。

编委会的具体组织领导工作由王乃举、孟慕尧同志负责。为了加强经常性的工作指导。还成立了编辑工作组，组长为孟慕尧，成员有冉新权、张卫国、咸玥瑛。

在“丛书”编写期间，编委会先后组织了多次研讨会，邀请各油气田、石油院校、科研院所的领导、专家、工程技术人员参加，确定了“丛书”的框架结构和编写提纲。每一分册都组建了各自的主编及编辑小组，聘请了一大批著名专家撰稿，他们都做了大量艰苦细致的文献查阅、专题研究及亲临现场调研工作。中国石油天然气集团公司、中

国石油化工集团公司、中国海洋石油总公司、西南石油学院、石油大学等单位，在编写资料、编写人员等方面积极给予协调帮助；中国石油天然气股份有限公司、西南油气田分公司、长庆油田分公司在经费上给予了支持，保证了“丛书”编写工作的正常运行。石油工业出版社在稿件审查、编辑加工和组织出版方面高度重视，将该套“丛书”列入了石油工业出版社“十五”重点丛书，并上报国家新闻出版总署，将此“丛书”作为精品图书出版。

本套“丛书”是系列性科技专著，共分8个分册，约500万字，分别为《天然气资源勘探》、《气藏地质》、《气田与凝析气田开发》、《气藏工程分析方法》、《采气工程》、《天然气矿场集输与处理》、《天然气输送与储存工程》、《天然气综合利用》。“丛书”既有理论概念，但更多地偏重于适用的工程技术方法的阐述。它是天然气勘探、开发、集输、储运、综合利用系统有代表性的专家和技术人员的集体创作，主要面对从事天然气工业的中高级科技人员和经营管理者，也可作为大专院校及企业在职教育培训的参考教材。

在本“丛书”出版的时候，编委会对所有参加本“丛书”的编写、研讨、出版和曾经给予大力支持的各界人士，谨致衷心的感谢！

前 言

采气工程是气田开发领域中的一门重要学科，是在气藏开发地质和气藏工程研究的基础上，以气井生产系统分析为手段，着重研究不同类型气藏天然气在井筒中的流动规律，并在科学合理利用气藏天然气能量的原则下，采用最优化的采气工程方案与相应的配套系列工艺技术措施，把埋藏在地下的天然气资源最经济、安全、有效地开采出来，以实现气田长期高产、稳产，获得较高经济采收率。因此，采气工程是实现气田开发指标、完成天然气生产任务的工程技术保证，在气田开发领域中起着重要的作用。

本书是《天然气工程丛书》之一，介绍了采气工程的主要特点，气井完井工程技术和气井生产全过程的储层保护工艺技术，气井生产系统分析技术，采气工艺技术，低渗透气藏压裂酸化储层改造增产工艺技术，气井修井与井下作业工艺技术，气藏（井）动态监测工艺技术，天然气生产管理与安全环保技术，采气工程方案设计等。本书在编写上，以我国不同类型气藏采气工程的技术发展和实践应用为主要内容，同时也吸收了国内外采气工程的新理论、新工艺、新技术及新方法。在编写中力求理论与实际相结合，从理论上阐明采气工程学的基本原理，更突出了采气工程成熟工艺的配套系列技术及应用，特别注重采气工程配套系列技术的科学性、完整性、适用性及可操作性，并针对我国不同类型气藏的开发特征，列举了采气工程配套系列技术的应用实例，使读者易于正确掌握和科学应用本书所介绍的实用技术。在编写过程中考虑到部分内容已有许多专著，如完井技术、增产技术等，因此，限于篇幅原因本书对这部分内容只做了一般介绍。

本书由金忠臣担任主编，杨川东、张守良担任副主编，刘同斌为本书技术顾问。全书结构由序言、前言和可相对独立的十章组成。其中，前言、第一章、第二章和第五章由杨川东编写；第三章由杨重光、周堤编写；第四章由杨涛、杨川东编写；第六章由李联奎、雷群编写；第七章由周堤、卢富国、孙万里及杨川东编写；第八章由马发明编写；第九章由卢富国编写；第十章由张守良、杨川东编写。全书由孟慕尧、金忠臣、杨川东和张守良统审。孟慕尧、吴康、杨旭、张书平、谷坛、吴玉琪参与了本书编写策划。

本书的编写工作得到了中国石油天然气集团公司、中国石油天然气股份有限公司的关心及石油工业出版社、中国石油勘探开发研究院、中国石油西南油气田分公司、四川石油管理局、中国石油长庆油田分公司和青海油田分公司等单位领导的大力指导、支持与帮助。为此，谨向所有提供指导、关心、支持与帮助的单位及有关领导与员工以及为本书所引用参考资料的有关作者致以深切的、由衷的感谢。

我国采气工程使用的是 SI 国际单位制，鉴于本分册在编写中介绍了必要的国外采气工程的新工艺、新技术、新成果，对引用的相应资料的公式、图表，保留了原采用的英

制单位，在本书的最后附有单位换算表，以方便读者换算。

鉴于编写水平有限，书中难免存在错、漏、不当之处，恳切希望使用本书的广大读者批评指正。

本书编写组

2004年6月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 我国采气工程的技术发展	(1)
第二节 国外采气工程技术发展现状及趋势	(2)
第三节 采气工程的主要任务与工作内容	(3)
参考文献	(3)
第二章 采气工程的主要特点和研究对象	(4)
第一节 采气工程的主要特点	(4)
第二节 采气工程研究的主要气藏对象	(6)
参考文献	(15)
第三章 气井完井	(17)
第一节 气井完井方式	(17)
第二节 储层伤害和保护	(27)
第三节 生产管柱与井下工具	(38)
第四节 射孔	(44)
第五节 气井完井测试	(49)
参考文献	(55)
第四章 气井生产系统分析	(56)
第一节 天然气在井筒中的流动规律	(56)
第二节 气井井底压力计算	(60)
第三节 气井动态曲线	(83)
第四节 气井生产系统分析的基本原理和程序	(91)
第五节 生产系统分析在气井生产中的应用	(95)
参考文献	(99)
第五章 不同类型气藏的采气工艺技术	(100)
第一节 气驱气藏的采气工艺技术	(100)
第二节 疏松砂岩气藏的采气工艺技术	(121)
第三节 异常高压气藏的采气工艺技术	(139)
第四节 产水气藏的采气工艺技术	(152)
第五节 凝析气藏的采气工艺技术	(193)
第六节 含酸气气藏的采气工艺技术	(214)
参考文献	(247)
第六章 气井增产工艺技术	(250)
第一节 作用机理及增产原理	(250)
第二节 气井增产措施实验技术	(256)
第三节 酸化酸压增产工艺技术	(264)
第四节 水力压裂增产工艺技术	(268)
第五节 增产措施设计	(270)
第六节 工作液及添加剂	(274)

第七节	施工组织及质量控制	(285)
第八节	裂缝诊断与监测技术	(287)
第九节	增产措施的后评估	(291)
	参考文献	(293)
第七章	气藏(井)动态监测工艺技术	(294)
第一节	主要内容与任务	(294)
第二节	试井工艺技术	(295)
第三节	生产测井工艺技术	(304)
第四节	工程测井工艺技术	(328)
	参考文献	(335)
第八章	气井修井工艺技术	(336)
第一节	主要作用和內容	(336)
第二节	井下事故诊断技术	(336)
第三节	气井小修	(343)
第四节	气井大修	(345)
第五节	连续油管修井作业	(354)
第六节	不压井起下作业	(362)
第七节	修井综合应用实例	(365)
	参考文献	(369)
第九章	天然气生产管理与安全环保技术	(370)
第一节	气井生产管理	(370)
第二节	天然气安全生产技术	(387)
第三节	采气工程环境保护技术	(392)
	参考文献	(396)
第十章	采气工程方案设计	(397)
第一节	采气工程方案设计的重要作用与特点	(397)
第二节	采气工程方案设计的前期工作	(398)
第三节	采气工程方案设计的主体工艺内容	(399)
第四节	采气工程方案设计程序	(400)
第五节	采气工程方案设计典型实例	(416)
	参考文献	(437)

第一章 绪 论

采气工程是以流体渗流力学、气田开发与开采原理为基础，广泛运用现代数学方法以及工程分析方法，研究科学、合理开发与开采气藏（田）配套工艺技术的一项庞大而复杂的综合性系统工程。主要内容包含：钻井、完井、储层保护及投产工艺，增产工艺，不同类型气藏（田）采气工艺、井下作业与修井工艺，气井生产动态监测工艺，气井生产管理与安全环保工艺技术和采气工程方案设计。

第一节 我国采气工程的技术发展

新中国成立以来，我国的采气工程配套工艺技术的研究与应用取得了举世瞩目的成就。

20世纪60年代前，我国最大的天然气生产基地四川气田，还处于气井压力相对较高的开采初期和无水采气阶段，采气工程研究的主要内容是相对较为简单的气井试井，地面集输，气井管理和酸化解堵、酸液配方、现场施工技术探索等工艺技术。

20世纪六七十年代，我国采气工程技术系列有了新的进步，它已经包含了气体稳定流动能量方程在气井生产系统分析中的应用和天然气脱硫、脱水等工艺技术，基本解决了“常规解堵酸化”的装备和工艺技术问题，但研究对象——气井生产大系统，仍主要是一次开采的自喷采气、较为简单的单相流动规律和产层井下增产作业的常规工艺技术。

20世纪80年代以来，特别是90年代，随着天然气生产规模的扩大，产水气田、产水气井与进入低压开采阶段的气藏、气井以及年久待修的老井逐年增多，二次勘探井和开发补充井中遇到的低渗透层的区块也越来越多，为了实现老气田稳产，依靠科学技术进步，加快了采气工程配套工艺技术系列的研究，促进了采气工程系统的建立和采气工艺技术水平的长足进步。在气井的完井与储层保护方面，从储层评价方法、完井液、完井方式、固井及水泥添加剂的研究，到高效射孔、投产措施等方面的技术，都获得了重要成果。在低渗透储层增产工艺技术方面，针对低渗透储层岩性特征，在“常规的酸化解堵”基础上发展了“前置液压裂酸化”、“胶凝酸压裂酸化”、“降阻酸压裂酸化”、“泡沫酸压裂酸化”、“堵塞球压裂酸化”、“封隔器分层压裂酸化”等六项压裂酸化工艺技术，使压裂酸化技术由单井转向区块，开展了区块总体优化设计研究，引进了HQ2000型压裂机组，建成了具有国际先进水平的压裂酸化实验室，形成了压裂酸化储层描述、室内试验、机理研究、优化设计、压裂液及酸液体系、压裂酸化效果评价系统配套的低渗透区块整体改造技术，能满足勘探开发多井况、多层系压裂酸化施工要求。针对产水气藏，发展了排水采气工艺技术，形成了各种工艺优化设计的软件包，使单井排水采气工艺逐步发展成气藏排水采气工艺和区块整体治理的配套工艺技术系列，达到了国际先进水平。针对低压气井开采，发展了以高低压分输、天然气喷射器和压缩机增压输送及负压开采的采、集、输配套工艺技术，从而形成了采气工程增产的三大主体技术系列，在气田开发中发挥了重要的作用。

在气井的生产方式方面，推广、应用了气井生产系统分析技术，摸索和总结了不同类型气藏的开采工艺模式；在气井维修和井下作业方面，应用了以过油管传输为主的深穿透负压射孔技术、以插管封隔器为主的井下分采工艺技术、连续油管冲砂及可旋转式捞砂等清砂工艺技术、连续油管和液氮排液技术，提高了井下作业和修井的效率；在防腐蚀方面，逐步发展了含酸气气田的一次性完井管柱和开采、防腐新技术。

20世纪90年代以来,我国的天然气勘探与开发都连续取得重大突破^[1,2],为天然气工业的发展打下了良好的基础。随着南海西部崖13-1、乐东孔隙性高渗透气藏,长庆低渗透气藏,青海涩北气田多层、疏松砂岩气藏,塔里木一批凝析油气藏和克拉2、依南2号特高压气藏,以及四川盆地大天池构造带石炭系碳酸盐岩气藏和罗家寨等高含酸气气藏的开发,拓宽了我国采气工程技术的发展领域^[3],基本形成了完井工程、气藏保护、气井分采、排水采气和排水找气、含酸气气藏开采、凝析气藏开采、特高压气藏开采、低渗透气藏储层增产改造、气藏生产动态监测及气井修井等10项采气工程配套工艺技术,同时,开展了采气工程方案设计程序和设计方法的研究,使采气工程方案设计逐步成为了气田开发总体建设方案设计的重要组成部分和方案实施的重要组成部分^[4]。所有这些,都展示出我国的天然气工业和采气工程技术系列的发展,进入了一个崭新的历史阶段。

第二节 国外采气工程技术发展现状及趋势

国外长期以来十分重视从气田开发系统工程出发,运用计算机科学、渗流力学、开发地质学等现代科学综合技术,以有序地发展采气工程理论指导采气工程实践,为重大技术措施提供了科学的决策依据^[5]。

前苏联早在20世纪80年代就研制完成了一个包括地层—井筒—集输等整个系统工程的计算机仿真技术体系,利用最优化原理求出产层或流体参数在气藏平面上的分布,对整个气田开发过程进行监控,对包括采气工艺在内的整个开发系统进行分析、预报、最优化、调控的自动处理,构成了较先进的现代化气田开发决策系统工程。近年来国外气藏单井数值模拟仿真技术发展很快,形成了具有智能化特色的单井模拟器,充分利用计算机计算速度快,内存容量大的优点,实现了气藏工程、采气工程产层—井筒—地面的动态仿真;仿真系统成为可综合交互使用的软件工程;形成了“专家系统”软件;仿真软件向大型化、综合化和平台化方向发展;数值仿真模型能适应不同特性的气田开发开采工程要求,仿真技术已广泛用于气田、气藏开发方案、采气工程方案设计及动态预测。

在完井方面,从系统工程角度出发,国外90%的气井采用了优化射孔完井方法和无伤害完井作业;针对含酸气气藏,发展了适合含酸气气井、具有新型抗酸气腐蚀材质的油管以及套管、三向载荷套管强度解析设计方法;在采气工艺方式选择方面,坚持以气藏工程研究成果作为采气工艺技术的决策依据,俄罗斯对36个气田在弹性水驱条件下的开采特征进行了分析和研究,总结出了一套气井与地层协调工作的参数;并发展了采气全过程的防腐、防垢、防水合物等一系列配套技术;在气水动力学监测的数值模拟检测技术方面,对底水气藏已由二维两相单井模型,发展到三维水锥模型、三维产层模型。对于双重介质,发展了以改进黑油模型模拟低渗透气藏天然和人工裂缝中的气水渗流特征,可有效地监测不同采气工艺方式下底水上升和边水沿高渗透层横向推进的动态,成为当前监测和预测边、底水锥进最先进的综合方法。

在低渗改造方面,增产工艺已从对单井的增产处理发展为对整个气田进行总体改造,发展、应用了特大型水力压裂、高能气体压裂、改变压力场压裂、注二氧化碳压裂、氮压裂、泡沫压裂等新型酸化压裂技术,美国对井深大于4000m的砂岩气井进行巨型压裂的最高加砂量达到了1500m³,压裂投产后,可数年不再进行措施作业,并广泛使用电子计算机加快了水力裂缝数值模拟的研究和全三维酸压设计软件的开发、应用,突出了以效益为中心的特点,提出了酸化压裂经济设计模式,使许多原先认为不具商业价值的低渗透致密大型气田投入了开发。据统计,美国56%的钻获气井要采取水力压裂措施增产,20%~30%的低渗透储层的可采储量靠水力压裂获得。

在成组气田开发方面,国外发展了一井平行双管、三管及同心双管开采技术。美国有10%的生产井为一井多层开采,其中85%、10%分别采用双管、三管开采,这样就大大加快了开采速度,使一井多层开采工艺技术成为合理开发成组气藏的重要工艺技术。

在有水气藏开采方面,将计算机网络技术用于制定有水气藏二次开采方案,发展了气藏治水的开采模式和对复杂地界条件及多井组网络系统进行整个系统的优化设计。就单项工艺而言,在普遍采用小油管、泡排、常规气举、柱塞气举、机抽、电潜泵、射流泵、螺杆泵等排水工艺方法的基础上,实

现了排水采气工艺技术与装备、井下作业、修井技术的系列配套, 研究应用了液压气泵、利用气压开采的井下排水系统、喷射气举、腔式气举、射流泵和气举组合开采以及气水井下分离、回注开采等新工艺、新技术, 发展了数控游梁式、无游梁式等多类型开采抽油机及连续钢带抽油装置, 研制了可用于各种用途的新型天然气压缩机组和气举阀, 具有耐高温、耐 H_2S 腐蚀、防气的大功率电潜泵和高抗腐蚀、高耐磨性的特制陶瓷射流泵, 以及智能人工举升配套装置, 使人工举升工艺技术的生产操作逐步向遥控、集中、高度自动化的智能化举升方向发展。在水处理方面, 开发、应用了气井井下水处理装置与井下螺旋分离技术。

在修井工艺方面发展了低密度、轻伤害修井液和保护产层的连续油管不压井修井工艺技术, 过油管修井工艺技术, 第三代长、短冲程液压式不压井修井工艺技术。

围绕气藏的高效、科学开发, 以提高气藏经济采收率为目的, 进一步加强特殊天然气气藏开发的工艺技术和上下游一体化为重点的研究、应用攻关, 仍然是国外 21 世纪采气工程与采气工艺技术发展的总趋势。

第三节 采气工程的主要任务与工作内容

一、采气工程的主要任务

从我国已开发气藏的总体地质特点和储层特性出发, 采气工程的主要任务:

(1) 在具体气藏的条件下, 根据气藏工程总体部署方案的要求, 解决好钻井方式、气层保护方法、完井方法、套管程序和开采的方式, 以确保把气藏的储量最大限度地控制和动用起来。

(2) 从气井投入开采到枯竭的整个阶段, 要以最经济、最有效的方式, 在井筒建立合理的采气生产压差, 以获得较高的采气速度和气田开采的最高经济采收率, 这是采气工程技术的核心。

(3) 要以最低的消耗完成产出天然气的采集输和气水分离、净化回收, 为用户提供气质合格的商品天然气。

二、采气工程的主要工作内容

(1) 根据气藏的地质特征和储层特点, 编制气藏开发的采气工程方案, 对气藏实施高效益、高采收率的开发。

(2) 研究、发展适合气藏特点的采气工程系列工艺技术, 并配套形成生产能力。

(3) 对气井进行生产系统分析, 优化采气工艺方式, 提高气井的采气速度。

(4) 推广、应用各种新技术、新装备, 解决气田合理开发的各种工程技术问题。

(5) 确保安全生产制定、完善采气工程方面的有关标准、规程、规范, 使采气工程技术、施工操作有章可循, 实现标准化、规范化作业。

参 考 文 献

- 1 马富才. 中国天然气工业的开发前景. 天然气工业, 1999, 19 (1)
- 2 国家经济贸易委员会. 石油工业十五规划. 中国石油报, 2001-07-06
- 3 中国石油天然气集团公司等. 进攻是最好的防御. 中国石油报, 2001-07-06
- 4 袁士义等. 气田开发技术现状及发展展望. 见: 中国石油勘探与生产分公司编. 天然气勘探开发技术论文集. 北京: 石油工业出版社, 2000
- 5 C U Ikoku. Natural Gas Production Engineering. John Wiley & Sons, Inc, 1984

第二章 采气工程的主要特点和研究对象

采气工程必须适应气田地质特征。充分认识采气工程的主要特点、研究气藏的主要类型和基本特征及其对采气工程的技术要求,是有效发展采气工程技术系列,提高采气工程技术经济效益的重要基础和保证。近年来,以中西部地区为重点的天然气勘探连续取得了重大的突破,新发现的深层大中型含水气藏、高含酸气气藏、异常高压气藏、高含凝析油气藏、碎屑岩低渗气藏等正陆续投入或即将投入开发,使目前的采气工程技术无论在深度和广度上,都与新投入开发气藏的地质特征、储层、流体性质难以配合与适应。为了发展和配套采气工程技术,进一步提高采气工程技术的规模效益,加强对采气工程主要特点的认识,研究气藏主要类型的基本地质特征是十分必要的。

第一节 采气工程的主要特点

充分认识我国采气工程技术系列的特点,是发展采气工程技术系列的前提和依据。我国的采气工程技术系列主要有下述5个基本特点。

一、地质和储层的特殊性

我国已发现的气藏以埋藏深、低渗透、中小型气田为主,给采气工程技术带来了很大的困难。从勘探部门提供的资源评价结果看,古生界预测的天然气资源量约占62%。地层越偏老,埋藏越深。我国已探明的气田(藏)其埋藏深度大多在3000~6000m之间,埋深大于3500m的天然气资源为58.39%,开发埋藏较深的气田(藏)必须要有水平较高的采气工程技术;同时,我国的天然气储层大多属于中、低渗透储层^[1],而且低和特低渗透储层占有相当的比例,低渗透气藏的气层增产改造难度大;我国已探明气田多属中小型气田^[2],在目前已探明的281个气田中,平均每个气田地质储量仅为 $60.42 \times 10^8 \text{ m}^3$,决定了我国天然气开发的高度分散性和复杂性,致使气田产出气的利用及其同步配套关系较为严格,它不仅涉及气田内部的生产集输配套,也涉及到气田外部用户的系列配套,并从生产、输送到外销,都受到时间、季节因素及用户生产检修的直接影响,给管理工作增加了很大难度。

二、气藏产水的严重性

我国已投入开发的气田(藏)中,产水气田和低压气田(藏)占有相当的比例,在四川盆地已钻获的96个已投入开发的主干气田中,就有85个产水,占气田总数的86.7%以上。

采气工程与采油工程在开采方式上有较大的差异。油层可以是亲水的,也可以是亲油的或中性的,但天然气与岩层的亲和力小,天然气层都是亲水层^[3]。在气藏的钻井和开采中,水容易进入气层造成伤害,甚至把气层堵死,使采收率降低。同时,由于钻井过程中水进入气层,测井参数发生改变,使