



天然气工程技术培训丛书

TIANRANQIGONGCHENGJISHUPEIXUNCONGSHU

采气工程

杨川东 主编

《天然气工程技术培训丛书》共四个分册：《气藏工程》、《采气工程》、《天然气集输工程》和《天然气经济与法规概论》。

《采气工程》是《天然气工程技术培训丛书》之二。

采气工程是气田开发的一门重要学科。本书着重介绍了天然气的主要物理化学性质；常规、非常规气藏开采的生产系统；对气井的增产措施，气井修井等工艺详细地进行了剖析；同时给出了采气工程方案设计的工作思路。

本书可供气田开发与开采工程技术人员及石油大专院校师生参考。

《天然气工程技术培训丛书》共四个分册：《气藏工程》、《采气工程》、《天然气集输工程》和《天然气经济与法规概论》。

《天然气工程技术培训丛书》由石油工业出版社编辑出版。

石油工业出版社

天然气工程技术培训丛书

采 气 工 程

杨川东 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是《天然气工程技术培训丛书》之二。

采气工程是气田开发的一门重要学科。本书着重介绍了天然气的主要物理化学性质；常规、非常规的气藏开采生产系统；对气井的增产措施，气井修井等工艺详细地进行了剖析；同时给出了采气工程方案设计的工作思路。

本书可供气田开发与开采工程技术人员及石油大专院校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

采气工程/杨川东主编.

北京:石油工业出版社,2001.2

(天然气工程技术培训丛书)

ISBN 7-5021-3214-7

I.采…

II.杨…

III.天然气开采-技术培训-教材

IV.TE37

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 79004 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 16.5 印张 419 千字 印 1—2000

2001 年 2 月北京第 1 版 2001 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-3214-7/TE·2437

定价: 32.00 元

《天然气工程技术培训丛书》编委会

主任：何 焯

副主任：周志斌 刘同斌 许可方

宣祥庆 欧阳异发

委员：傅 东 王治培 钟孚勋 李联奎

苏建华 刘庆新 陈元发 严宗源

《采气工程》编写组

主 编：杨川东

编写人员：杨川东 熊寿春 杨 涛 伍红梅

主 审：李联奎

参 审：熊寿春

终 审：刘同斌

序

从能源发展的角度来说，有专家称 21 世纪是天然气世纪，随着国家西部大开发战略的实施和西气东输工程的建设，天然气工业发展呈现了广阔的发展前景。为了适应天然气工业发展的需要，加强天然气工业技术队伍的培训，我们组织有关专家和技术人员编写了《天然气工程技术培训丛书》。

该丛书总结了四川 50 年来在天然气开发、集输和营销方面的理论和经验，着重放在理论和实践的结合上，在编写中突出培训教材的特点，强调针对性和实用性，同时注意吸收各专业正在推广和发展的新理论、新工艺和新技术汇编其中。该丛书可作为培训高级技工的教科书，也可供有关专业技术人员学习和参考。

对我国来说，天然气工业正处在发展阶段，天然气开发、集输和营销也正处在发展中，我们的工艺技术和实践经验有一定的局限性，加之首次编写这类丛书，缺乏经验，难免存在不足和疏漏，请予以批评指正。

《天然气工程技术培训丛书》编委会

2000 年 11 月

前 言

天然气是国民经济赖以生存和发展的特殊能源与战略资源之一，就环保和优质能源的开发而言，未来的 21 世纪将是天然气世纪。纵观当今世界，能源与环境正日益成为举世关注的时代课题，使用清洁能源成为了世界潮流，全球能源趋势已呈现“煤—石油—天然气转换的过程”。我国政府和中国石油天然气集团公司十分重视天然气的勘探、开发，要求把加快天然气工业的发展作为国民经济新的增长点，并规划了在 2010 年我国天然气年产量达到 $700 \times 10^8 \sim 800 \times 10^8 \text{m}^3$ ，在 2020 年达到 $1000 \times 10^8 \sim 1100 \times 10^8 \text{m}^3$ 的发展战略目标，以及加快实现“西气东输”的发展战略。为了加快天然气采输工程专业人才的培训，实现我国天然气发展的跨世纪宏伟目标，四川石油管理局组织了有关单位的专家和教师，编写了《天然气工程技术》培训系列丛书。

《采气工程》是《天然气工程技术培训丛书》的第二分册。在编写过程中，本书以培养职工的创新精神和实践能力为重点，以对人才的素质要求和人的发展为本，努力引导职工学会探索，学会发现，学会动手，学会创新，并通过学习，能较全面地了解 and 掌握天然气的物理性质及地下流体在储层中的分布规律和流动规律，了解天然气开发和开采的全过程，在合理利用资源的原则下尽可能采用各种先进的工艺技术手段，把埋藏在地下的天然气资源最有效地开采出来，以实现气田长期高产、稳产，获得较高的经济采收率，从而确保我国天然气工业跨世纪发展宏伟目标的实现。

本分册全书共分八章。由中油股份公司西南油气田分公司采气工艺研究所杨川东教授和四川石油管理局职工大学熊寿春、杨涛、伍红梅等共同完成。由杨川东担任主编并撰写前言、第一章、第四章、第五章、第八章；由熊寿春、杨涛分别撰写第二章与第七章，并共同撰写第三章（其中第一、二节由熊寿春撰写，第三、四、五、六节由杨涛撰写）；由伍红梅撰写第七章。全书由中油股份公司西南油气田分公司采气工艺研究所李联奎教授担任主审，由四川石油管理局刘同斌教授担任终审。本分册在编写的过程中，得到了中油股份公司西南油气田分公司、四川石油管理局及教育处、开发处、职工大学、钻采工艺技术研究院、川南矿区等单位有关领导和工程技术人员的大力支持和帮助，在此致以由衷的感谢。

鉴于编者水平有限，书中难免存在有错、漏、不当之处，由衷希望使用本书的广大教师、学生及广大现场工程技术人员批评指正。

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 采气工程的主要任务和技术发展.....	(1)
第二节 采气工程的主要特点.....	(4)
第三节 采气工程设计方案与采气工程师的主要职责.....	(5)
参考文献.....	(7)
第二章 天然气主要理化性质	(8)
第一节 天然气及其分类.....	(8)
第二节 天然气的组成、视相对分子质量和密度.....	(9)
第三节 天然气的偏差系数.....	(16)
第四节 天然气的等温压缩率.....	(23)
第五节 天然气的体积系数.....	(26)
第六节 天然气的粘度.....	(28)
参考文献.....	(34)
第三章 天然气在井筒中的流动和气井生产系统分析	(36)
第一节 气体稳定流动能量方程.....	(36)
第二节 气井井底压力计算.....	(41)
第三节 气井动态曲线.....	(58)
第四节 节点分析的基本原理和设计程序.....	(62)
第五节 生产系统分析在气井生产中的应用.....	(64)
第六节 气井生产系统分析实例.....	(68)
参考文献.....	(71)
第四章 常规气藏的开采	(72)
第一节 气井合理产量的确定.....	(72)
第二节 气井的生产工作制度.....	(76)
第三节 气井的分类开采.....	(81)
第四节 常规气藏气井的生产管理.....	(92)
参考文献.....	(99)
第五章 非常规气藏的开采	(100)
第一节 产水气藏气井的开采.....	(100)
第二节 凝析气藏气井的开采.....	(141)
第三节 含硫气藏气井的开采.....	(146)
参考文献.....	(154)
第六章 气井增产措施	(155)
第一节 水力压裂.....	(155)
第二节 酸化.....	(176)

第三节 现场质量控制·····	(190)
参考文献·····	(193)
第七章 气井修井 ·····	(194)
第一节 气井修井应遵循的基本原则·····	(194)
第二节 工艺井常规修井作业·····	(195)
第三节 气井不压井起下油管作业·····	(200)
第四节 气井小修·····	(205)
第五节 气井大修·····	(212)
第六节 修井综合应用实例·····	(220)
参考文献·····	(223)
第八章 采气工程方案设计 ·····	(224)
第一节 采气工程方案设计的特点·····	(224)
第二节 采气工程方案设计的前期工作·····	(225)
第三节 采气工程方案设计的基本任务和主体工艺·····	(227)
第四节 采气工程方案设计程序·····	(228)
第五节 采气工程方案设计应用气藏实例·····	(245)
参考文献·····	(254)

第一章 绪 论

第一节 采气工程的主要任务和技术发展

一、采气工程的主要任务

采气工程是指在天然气开采工程中有关完井作业、试井及生产测井工艺技术、增产措施、天然气生产、井下作业与修井、地面集输与处理等工艺技术和采气工程方案设计的总称，是天然气开采工程中一个占有主导地位之一的系统工程，对天然气气田的高效益、高采收率开发具有举足轻重的作用。

采气工程的主要任务是：

(1) 针对气藏的地质特征和储层特点，编制满足气田开发要求的采气工程方案，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工艺技术，并配套形成生产能力；

(3) 对气井进行生产系统节点分析，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，解决气田开发的工程技术问题；

(5) 研究、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，确保优质、安全生产。

二、国外采气工程发展现状及趋势

国外气田采气工程方面的技术 90 年代以来有了很大的发展。新气藏开发从发现、进行综合评价、决定开发策略开始，直到开发结束，形成了完整的气藏开发科学决策体系。特别是采气工艺方面，国外长期以来十分重视从气田开发系统工程出发，并运用计算机科学、渗流力学、开发地质学等现代科学综合技术以有序的发展采气工艺理论，指导采气工艺实践，为重大技术措施提供科学的决策依据。前苏联早在 80 年代就研制完成一个包括地层—井筒—地面开采设备—集输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气储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、优化处理和调控，构成了一个现代化气田开发系统决策工程。近年来国内外气藏单井数值仿真技术发展很快，形成了具有智能化特色的单井模拟器，其特点是计算机的计算速度加快，内存容量大，能够解决复杂的气藏工程和采气工程从产层到井筒、地面的动态仿真；仿真程序成为可综合交互使用的软件工程；产生了“专家系统”软件，使数据易于输入；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开发方案、采气工艺方案设计及动态预测中。在采气工艺其它技术领域，国内外近年来也有很大进步。采气工艺方式选择方面，坚持以气藏工程成果作为采气工艺的决策依据，前苏联对 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；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；针对含硫气藏，发展了适合含硫气井、具有新型抗硫材质的油管与套管、三向载荷套管强度解析

设计方法与采气全过程的防腐、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，对底水气藏已由两维两相单井模型，发展到三维水锥模型、三维产层模型。对于双重介质，发展了以改进的黑油模型程序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，成为当前检测和预测边、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、氮压裂和多种新型酸压裂等压裂技术，美国对井深大于 4000m 的砂岩气井进行大型压裂的最高加砂量达到了 1500m^3 ，是我国目前加砂量水平的 5~7 倍，且压裂投产后，可数年不再进行措施，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压裂设计软件的开发、应用，突出了以效益为中心的特点，提出酸化压裂经济学设计模式，使许多原先认为不具商业价值的低渗致密大型气田投入了开发。据统计，美国 56% 的钻井要采取水力压裂措施投产，20%~30% 的低渗储层的可采储量靠水力压裂获得，仅 1987 年美国从低渗砂岩气藏中就开采出 $283.2 \times 10^8\text{m}^3$ 的天然气。在成组气田开发方面，国外发展了一井平行双管、三管，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、电动潜油泵、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及气水井下分离、回注开采等新工艺、新技术，发展了胶带传动游梁式、旋转驴头式、双驴头式、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，开发了可实施气举等各种用途的新型天然气压缩机组和气举阀、耐高温 (232°C)、耐 H_2S 腐蚀、防气的大功率（最大功率 735kW 、排量能力达 $4800\text{m}^3/\text{d}$ ）电动潜油泵和高抗腐蚀、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、轻损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、短冲程式液压式不压井修井工艺技术。围绕气藏的高效益科学开发，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，仍然是当前乃至 21 世纪采气工程与采气工艺技术发展的总趋势。

三、我国采气工程的技术发展

新中国成立以来，我国的采气工程技术取得了举世瞩目的迅速发展。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，气井管理和酸化原理、酸液配方、现场施工技术探索等工艺技术；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中的应用和天然气脱硫、脱水等工艺技术，基本解决了解堵酸化的装备和工艺技术问题，但所研究的气井生产大系统，仍然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增产改造的常规工艺技术，70 年代

以来，特别是 90 年代，针对天然气生产规模扩大、产水气田和产水气井与进入低压开采阶段的气藏和低压开采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和区块也越来越多的新情况，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程工艺技术的长足进步。在气井的完井保护气层方面，从储层评价方法、完井液研究、完井方式研究、固井及水泥添加剂研究、高效射孔到投产措施等方面的技术，都获得了重要成果；在采气增产工艺技术方面，针对低渗透储层改造，在解堵酸化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六项压裂酸化工艺技术，并使压裂酸化技术由单井转向区块，开展了区块改造总体优化设计研究，引进了 NOWSCO 和 HALLIBURTON 公司技术服务和具有国际先进水平的压裂酸化实验室与 HQ2000 型压裂车组，单井最高施工压力可达 100MPa，单井最大施工液量可达 1400m³，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，发展了二次开采的排水采气工艺技术，开展了排水采气工艺技术评价指标体系的研究，形成了各种工艺优化设计的软件包与数据库，使单井排水采气工艺逐步发展到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 20 世纪 90 年代国际先进水平。针对低压气井开采，还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、应用了生产系统节点分析技术，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，上试补孔应用了过油管传输为主的深穿透负压射孔技术，一井两层分采工艺技术研制、使用了以插管封隔器为主的完井井下工具，清砂应用了新冲砂工艺，排液应用了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，逐步发展了含硫气田的一次性完井管柱和开采、防腐新技术。当历史进入 20 世纪的 90 年代，我国的天然气已经形成的年生产能力达到 $230 \times 10^8 \text{m}^3$ 。不仅四川盆地在原有天然气探明储量的基础上，又新增天然气探明储量近 $3000 \times 10^8 \text{m}^3$ ；而且在鄂尔多斯盆地发现了天然气探明储量达 $2900 \times 10^8 \text{m}^3$ 的长庆大气田，在青海的柴达木盆地发现了天然气探明储量达 $1343 \times 10^8 \text{m}^3$ 的涩北大气田。在新疆塔里木、准噶尔、吐哈三大盆地和东海、南海北部大陆架都发现了多个天然气储量上百亿立方米的大中型气田。其中，仅塔里木盆地已探明、控制和预测地质储量就达到 $5679 \times 10^8 \text{m}^3$ 。从而在我国形成了东部（黑龙江、辽宁、吉林、山东）、中部（川渝、陕甘宁）、西部（新疆、青海）、海域四大气区，累计天然气（气层气）探明储量达到了 $16977.96 \times 10^8 \text{m}^3$ ，再加上在 21 个盆地探明的溶解天然气储量 $9477.18 \times 10^8 \text{m}^3$ ，使目前天然气探明储量超过了 $2.5 \times 10^{12} \text{m}^3$ ，大中小气田数达到了 281 个，为我国天然气工业的发展打下了良好的基础。采气工程方面，在重点发展并形成生产能力的 10 项工艺配套技术的基础上，开展了采气工程方案设计程序和研究。特别是近几年来，在四川盆地、青海和新疆油田成功进行了四川盆地大天池构造带石炭系气藏开发概念设计、四川盆地川东地区温泉井、黄龙场、渡口河区块开发概念设计、四川盆地沙坪坝构造带石炭系气藏采气工程设计、四川天然气开发建设项目技术经济评价、新疆吉拉克凝析气田采油工程方案设计、青海涩北气藏采气工程方案设计，逐步形成了以开发井钻井工程、完井工程、生产全过程的气井保护技术、生产方式选择、增产工艺技术、生产动态监测、天然气生产、井下作业与修井为主体内容的采气工程配套技术系

列。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核心。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 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题和依据。我国的采气工程技术系列主要有以下几个方面的基本特点。

一、地质和储层的特殊性

我国已发现的天然气藏的地质和储层的特殊性，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%，而世界天然气资源量中，古生界不到 30%。地层越老，埋藏越深。我国已探明的气田其埋藏深度大多在 3000~6000m 之间，埋深大于 3500m 的天然气资源为 58.39%，而美国有近 70% 的天然气资源埋藏在 3000m 以内，前苏联有 60% 的天然气储量埋藏在 2000m 以内。开发埋藏较深的气田必须要有水平较高的采气工程技术；我国的天然气储层大多属于中低渗透储层，而且低和特低渗透储层占有相当的比例，而美国、前苏联等国的气田一般都具有高孔、高渗的特点。低渗气藏的气层增产的改造难度大；我国已投入开发的气田中，产水气田和低压气田占有相当的比例。截止 1997 年，四川盆地已钻获的 83 个已投入开发的气田中，就有 72 个产水，占气田总数的 86.7% 以上。有效开发产水气田，国外资料较少，如人工举升等常见工艺技术的国外资料大都针对油田，不能生搬硬套、简单借用，需要通过实践，发展一套有中国特点的采气工程技术；已探明的气田多属中小气田。在全国目前已探明的 281 个气田中，平均每个气田地质储量仅为 $60.42 \times 10^8 \text{m}^3$ ，地质储量大于 $1000 \times 10^8 \text{m}^3$ 的只有为数几个（表 1—1）。其中，剩余可采量大于 $500 \times 10^8 \text{m}^3$ 的盆地，陆上有川渝、陕甘宁、柴达木盆地；海域有莺歌海、琼东南盆地。而美国、前苏联等主要天然气生产国都拥有储量上万 $\times 10^8 \text{m}^3$ 的大气田作为天然气开采的支柱。以中小气田为主这一特点，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一系列配套，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。

表 1—1 我国主要油气区气田平均储量规模^①

地区	东部区	中部区	西部区	南方区	陆上合计	海城区	全国
气田个数	120	114	32	4	270	11	281
探明储量	2336.11	8149.18	3703.98	22.93	14212.20	2778.07	16977.96
平均规模	19.47	71.48	115.75	5.73	52.64	252.55	60.42

^①储量单位： 10^8m^3 。

二、气藏产水的严重危害性

采气工程与采油工程在开采的方式上有较大的差异，油藏多以人工保持能量方式开采，开采速度和最终采收率相对较低。天然气多以消耗能量的衰竭方式开采，开采速度和最终采收率比油藏相对要高得多，一般纯气驱气藏的最终采收率可高达 90% 以上。但是，对产水气藏而言，则较之气驱气藏或油藏的开采工程技术的难度都要大得多。气藏产水后，水气在

渗流通道和自喷管柱内形成两相流动,增大了气藏和气井的能量损失,降低了气的相渗透率,并分割气藏形成了死气区,从而使采气速度和一次开采的采收率大大降低,平均采收率仅为40%~60%。也就是说,有30%~50%的储量,需要依靠二次开采的排水采气工艺技术,并投入较大的工作量才能开采出来。有的水淹气井,虽经多种工艺措施排出大量地层水,只要未能复产,就存在着无效投入的可能性。因此,采气工程技术具有显著的风险性、艰巨性。

三、流体性质的高腐蚀性

气藏中,不仅地层水的氯离子含量可高达 $1\sim 10\times 10^4\text{ppm}$ ^①,而且相当一部分气井所产生的天然气中还含有高腐蚀性的硫化氢、二氧化碳等酸性气体。据统计,仅四川盆地气田的硫化氢含量大于 $200\text{mg}/\text{m}^3$ (标)的天然气储量就占探明储量的70%,需脱硫处理后才能外输的气量占总产气量的64%左右。四川盆地卧龙河气田嘉五¹、嘉四³气藏硫化氢含量的体积比为5.92%~9.55%,中坝气田雷口坡气藏为5.67%~10.11%,都属于硫化氢含量在5%以上的高含硫气田。华北油田赵兰庄特高含硫气藏,含硫高达92%。吉林油田万金塔气藏的万2—2井,二氧化碳和硫化氢合计含量高达99.77%。天然气气藏中含有的硫化氢、二氧化碳酸性气体不仅可以严重危及人、畜,而且严重腐蚀气井的设备和管线,随时严重威胁气井的生产。四川盆地威远气田几乎两至三年必须更换一次井下油管,川中磨溪气田雷一¹气藏及川东地区部分石炭系气藏也连续发现井下管串严重腐蚀的情况,从而给采气工程作业及配套装备提出了苛刻的要求。

四、天然气的可爆性和高压的危险性

天然气气藏一般具有较高的压力。特别是一些深层天然气气藏,常常形成某些高压和超高压层段。四川盆地气田的川西北和川东南存在着两个高压异常区,压力系数高达2.2以上,中原油田文东沙三中气藏压力系数在1.6以上。天然气又是一种易燃、易爆性气体,天然气与空气的混合物在封闭系统中遇到明火,可发生剧烈燃烧,即爆炸。在常温常压下,天然气的可爆性限为5%~15%,随着压力升高,可爆性限急剧上升,当压力为 $1.5\times 10^7\text{Pa}$ 时,其可爆性上限高达58%。天然气的单位体积重量不到水的1%,密度小,具有很大的可压缩性和膨胀性,使气井井口压力不仅远远高于具有相同井深和井底压力的油井井口压力,而且对气井的井下工艺作业的防火、防爆措施要求更为严格。井下修井作业也要求采用不压井修井工艺技术或采用吊灌的安全作业措施。由于气藏的压力系数很高,液柱压力一旦与之失去平衡,则其释放速度非常迅猛,将会造成强烈井喷。有些强烈井喷,倾刻即可将井架喷倒,引起熊熊大火,从而增加了采气工程作业的难度和危险性。

针对这些基本特点,我国的广大采气工程工作者将进一步研究发展具有我国天然气开采特色的采气工程技术系列。

第三节 采气工程设计方案与采气工程师的主要职责

一、采气工程设计方案

采气工程是一个以气藏工程研究成果为基础的复杂系统工程。每个气田的开发和开采,

① $1\text{ppm}=1\text{mg}/\text{L}$ 。

都离不开气藏内部的多孔、多相渗流大系统和气井井筒举升与地面集输、分离的气井生产大系统。这两个大系统把产层—气井—地面建设工程结合成为一个有机的统一整体。两个大系统相互联系、相互作用的过程，就是气田开发和气藏开采的过程。对气藏大系统的研究，是气藏工程的任务，主要着重于产层，解决合理开发好气藏的问题。对于气井生产大系统的研究，是采气工程技术系列的重要任务之一，主要着重于气井，解决合理开采好气井的问题。两个大系统虽然着重点不同，却又紧密联系、紧密相关。气井是产层的出口，是采气工作者用以控制气藏生产的手段。气井开采不好，必然影响整个气藏的开发；反之，如果气藏气水关系恶化，那么气井也很难实现稳定及正常生产。因此，要合理开发好一个气藏，必须建立在依靠采气工程技术系列去科学开采好每一口气井的基础上；要合理开采好气井，也必须以气藏工程为基础，从整个气藏的地质特点和储层特性等地质情况着眼，去指导采气工程技术系列整体方案的制定和实施。因而，采气工程方案设计已成为指导气田科学开发的重要原则之一。一方面，由于每一个气田和气藏都有它的特殊性，这就不仅决定了整个气藏开发上所采取的采气工程方案措施的特点，而且也决定了气井实施的采气工程技术系列措施的特点；另一方面，一个气藏在气藏工程研究的基础上，能否投入高效、高采收率的开发，也需要采气工程通过所编制的方案设计为气藏开发的全过程提供成熟可靠、能有效应用于气藏的整体配套工艺技术；气井能否正常生产，需要采气工程设计方案提供优化的气井保护技术和开采工艺方式，有效的动态监测技术、强有力的气井作业手段以及增产措施；天然气能否合理处理与输送，需要采气工程设计方案提供有效的分离、计量输送技术和除去有害物质的有关技术；气田的开采能否降低生产成本，提高综合经济效益，需要采气工程设计方案解决好投入与产出的技术关键。

二、采气工程师的主要职责

采气工程师是采气工程方案设计的决策人和实施人。因此，采气工程师必须至少具备有两个方面的知识。一是具备气藏工程的基本知识；二是必须全面具备采气工程的技术知识。采气工程师只有以适应气藏地质特点和储层特性要求的气藏工程研究成果为基础，才能指导解决气田开发、开采中出现的各种新问题；也只有针对气藏的地质特点和储层特性，并以气藏工程研究成果为指导，才能充分了解气井生产系统现状，较好的预测气井生产系统的未来动态，编制好气田开发的采气工程方案，研究、发展适合于中国气藏特点的采气工程技术系列，并配套形成生产能力。

从我国已开发气藏的总体地质特点和储层特性出发，采气工程师主要肩负着三项重要任务：一是在具体气藏的条件下，根据气藏工程总体部署方案的要求，解决好钻什么样的井、采取什么样最有效的气层保护方法、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的控制和动用起来；二是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，以获得较长的无水采气期和带水生产自喷期、较高的采气速度和气田开采的最高采收率，这是采气工程技术的核心；三是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。

对优质能源开发和环保而言，21世纪是天然气的世纪，中国的天然气面临着跨世纪发展的战略任务。加大天然气勘探、开发力度，积极开发我国的天然气资源；增加天然气生产和消费，稳定实现国家提出的优化能源结构、环境控制规划目标；坚持天然气的开发和利用协调、稳步发展，充分考虑市场条件，处理好上、中、下游一体化的关系；积极开发加快天然气工业发展的人才培养和一系列科技攻关工作，是实现中国天然气跨世纪发展历史的必由

之路。为实现我国天然气这一跨世纪发展的宏伟战略目标作出更大的贡献。

思考题

1. 采气工程的主要任务是什么？
2. 我国采气工程的主要特点是什么？试述在对气井实施采气工程设计、施工时应遵循的基本原则？
3. 为什么生活燃烧用气必须遵循先点火、后开气的原则？
4. 新中国成立以来，我国的采气工程技术在那些方面取得了举世瞩目的发展？
5. 采气工程师的职责是什么？采输工程学员为什么必须学好采气工程？如何才能学好采气工程？
6. 为什么说 21 世纪是天然气世纪，我国天然气工业跨世纪的宏伟发展战略目标是什么？
7. 试述“西气东输”发展战略的重要意义？

参考文献

C. U. Ikoku. Natural Gas Production Engineering. John Wiley Sons, & Sons, INC, 1984

第二章 天然气主要理化性质

第一节 天然气及其分类

一、天然气的定义

广义而言，自然界里的天然气态烃和一些杂质的混合物统称为天然气。本书所指的天然气，仅指从地下油气藏中开采出来的可燃气体，它是石蜡族低分子饱和烃类气体和少量非烃类气体组成的混合气。按其化学组成，甲烷占绝大部分（70%~98%），乙烷、丙烷、丁烷等含量不多。此外，天然气中还含有少量的非烃类气体，如硫化氢、有机硫（硫醇 RSH 硫醚 RSR 等）、二氧化碳、一氧化碳、氮及水汽，有时也有微量的稀有气体，如氦和氩等。表 2—1 给出了典型的天然气组成。

表 2—1 典型的天然气组成表

单位：体积百分数

组 分	天 然 气	产自油井的气
甲烷	70~98	50~92
乙烷	1~10	5~15
丙烷	痕迹~5	2~14
丁烷	痕迹~2	1~10
戊烷	痕迹~1	痕迹~5
己烷	痕迹~0.5	痕迹~3
庚烷以上	痕迹~无	无~0.5
氮	痕迹~5	
二氧化碳	痕迹~1	痕迹~4
硫化氢	偶然痕迹	无~痕迹~6

在标准状态下，甲烷和乙烷是气体。丙烷、正丁烷（ $n-C_4H_{10}$ ）和异丁烷（ $i-C_4H_{10}$ ）也是气体，但经压缩冷凝后极易液化，家用液化气（LPG）就是这类组分。戊烷以上（常用符号 C_5+ 表示）的轻质油称为天然汽油（NG）。在天然气的烃类气体中，除甲烷外，通称天然气液烃（NGL），因为通过一定的液化装置（露点装置或深冷装置）都能使它们液化。

二、天然气的分类

1. 按矿场分类

1) 纯气田气

气藏中烃类以单相存在，甲烷含量约在 90% 以上，乙烷、丙烷、丁烷含量少，戊烷以上组分含量极少，相对密度大约为 0.5~0.6，在开采过程中没有或较少天然汽油凝析出来的天然气称为纯气田气。

2) 油田伴生气

油藏中，烃类以液相或气液两相共存，在开采过程中与液态石油一起开采出来的天然