

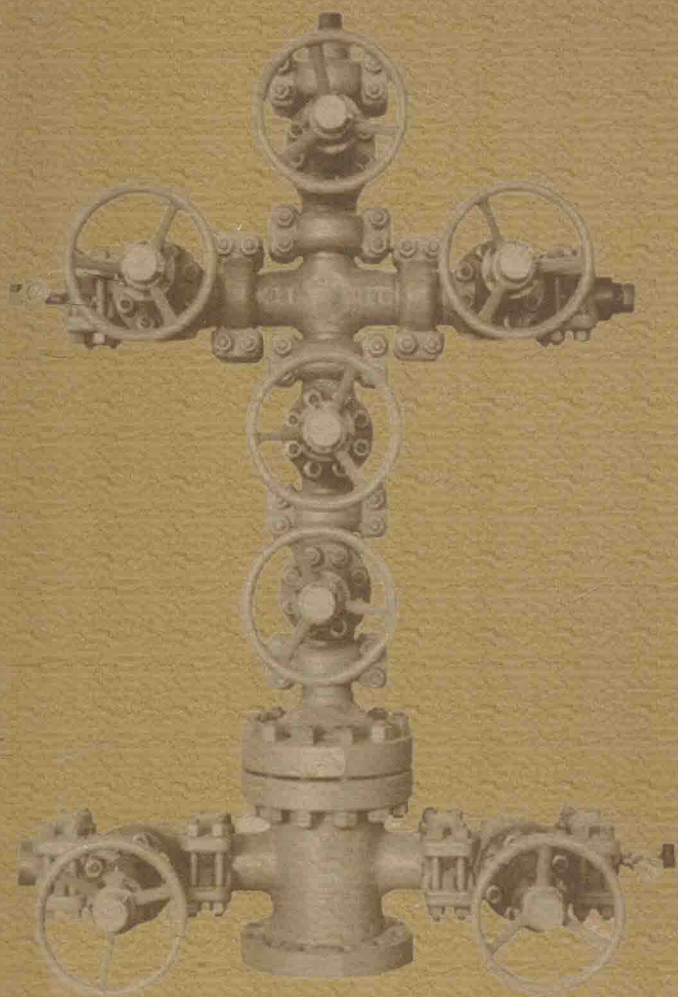
“十一五”国家重点图书出版规划项目

天然气工程手册

NATURAL GAS ENGINEERING HANDBOOK

采气工程手册

张守良 马发明 徐永高 主编



石油工业出版社

天然气工程手册

采气工程手册

张守良 马发明 徐永高 主编



石油工业出版社

内 容 提 要

本手册根据采气工程的内涵,从天然气开采常用概念、基础知识入手,系统介绍了气井完井技术、压裂酸化技术、采气技术和修井技术的工艺原理、流程、设计以及井下作业装备和工具。单独成章编排了常用井口装置、完井油套管和井下封隔器等相关知识和技术规范。

本手册可供从事采气工程技术人员、工程设计人员、采气生产和井下作业人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

采气工程手册/张守良,马发明,徐永高主编.

北京:石油工业出版社,2016.1

(天然气工程手册)

ISBN 978-7-5183-0868-2

I. 采…

II. ①张…②马…③徐…

III. 采气-手册

IV. TE375-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 212585 号

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.com

编辑部:(010)64523738 图书营销中心:(010)64523633

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2016 年 1 月第 1 版 2016 年 1 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:38

字数:920 千字

定价:198.00 元

(如出现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究

《天然气工程手册》

编 委 会

李海平 马新华 吴 奇 张卫国 何江川
张明禄 宋德琦 张守良 汤 林 任 东
陈建军 郭 平 章卫兵

专 家 组

孟慕尧 金忠臣 袁愈久 刘同斌 陈赓良
许可方 魏顶民 孟宪杰 李士伦 闵 琪
张 化 杨莉娜 胡光灿 颜光宗 冈秦麟
李颖川 杨川东

序

近十多年来,我国天然气产业快速发展,天然气市场需求旺盛。天然气消费年均增速高达16%。天然气占能源消费总量的比重从2000年的2.2%升至2014年的5.6%。按照《能源发展战略行动计划(2014—2020年)》,到2020年,天然气消费比重将达10%以上。天然气开发利用不仅对我国能源保障具有重要意义,而且对改善能源结构、促进环境保护也具有重大意义,我国政府高度重视天然气的发展,将天然气发展摆在国民经济发展的战略位置。

经过几代石油人的努力,我国天然气工业取得了很大的发展,目前已经形成了川渝、塔里木、长庆、青海和海洋在内的五大生产气区,建设了以“西气东输”、“陕京二线”等为代表的一批输气干线,这些都极大地促进了我国天然气技术进步和技术需求,尤其在低渗透砂岩气藏、疏松砂岩气藏、碳酸盐岩气藏、异常高压气藏、酸性气藏、火山岩气藏、凝析油气藏开发方面都取得了长足进步。

在20世纪80年代以四川气田开发为背景编制的《天然气工程手册》,曾在天然气发展过程中发挥了重要作用,但伴随着天然气在各个领域取得的高速进展,该手册在内容编排和新技术进展等方面难以做到与时俱进。而从事天然气各个领域工作的工程技术人员和管理人员越来越多,他们迫切需要一套与天然气工程紧密相关的工具书。因此,全面修订出版《天然气工程手册》丛书非常必要。

由中国石油天然气勘探与生产公司支持、组织编写的新版《天然气工程手册》,既考虑了手册类书籍的编制特点,又较全面地概括了当前国内外成熟的天然气工程技术和管理要求,充分体现了手册应有的科学性、实用性和可操作性。《天然气工程手册》丛书的出版,一定会对从事天然气各个领域工作的工程技术人员和管理人员具有很大的技术指导作用,并为促进我国天然气开发利用做出更大的贡献。



丛书前言

《天然气工程手册》丛书作为一套用于天然气开发专业的工具书,它由《气藏工程手册》《采气工程手册》《天然气集输工程手册》《天然气处理与加工手册》四个分册组成。在中国石油勘探与生产分公司的支持下,从2007年开始由中国石油咨询中心、石油工业出版社组织国内有关石油科研院所、大学以及油田企业百余名专家学者,历时8年精心编制完成。该套丛书可用于指导各类复杂气藏开发的技术管理、科研设计、生产操作,对天然气开发与利用的技术人员具有较强的应用价值,对高校师生的教学科研也有较好的参考价值。

编制全套《天然气工程手册》丛书,是我国天然气工业快速发展的需要。早在20世纪80年代,中国天然气工业的发展已经在四川独树一帜。1982年四川石油管理局组织老一辈的科技人员编制了《天然气工程手册》,对推动我国天然气工业的发展、培养大量的现场技术人才起到了重要作用。进入21世纪以来,天然气作为清洁能源,在我国进入快速增长阶段,全国天然气消费由过去不足百亿立方米迅速上升到千亿立方米以上,国内也形成了川渝、塔里木、长庆、青海和海洋几大天然气生产区。产量的快速增长,国外天然气的规模引进,大力度的开展输气管网建设,以及天然气消费市场的形成,为经济发展环境改善做出了积极贡献。这个时期天然气开发的突出特点是:

(1) 国内主要的气藏类型包括碳酸盐岩、异常高压砂岩、高含硫、低渗致密砂岩、疏松砂岩、火山岩等气藏得到全面开发,取得很多新的成果和经验;

(2) 围绕经济有效快速上产,单井高产、区块接替稳产等一批新的天然气开发理念得到实施;

(3) 水平井、大型压裂酸化改造等工程技术得到广泛应用;

(4) 天然气高压集输、油气混输、脱水、脱硫、脱碳等大规模处理技术和设备的广泛应用,使地面系统建设向标准化设计、模块化建设方向快速发展。

(5) 适应天然气平稳保供的多种季节调峰和应急调峰手段建设正处在重要实施阶段;

(6) 天然气安全生产和HSE建设不断落实和完善;

(7) 天然气开发队伍快速扩大,人才队伍的培养越来越受到重视。

为了及时总结天然气开发已取得宝贵经验和科研成果,并为今后一个时期我国气田开发实现有质量、有效益、可持续和科学发展提供技术支持,中国石油勘探与生产分公司组织编制了这套《天然气工程手册》丛书。

考虑到《天然气工程手册》丛书既要符合手册类书籍的特点,也要适应天然气发展的技术

需求和管理进步,因此在组织编写中坚持了4个方向的原则:

(1)顶层设计,系统架构:通过顶层设计,构架了《天然气工程手册》的系统内容,明确了各分册的内容与重点,划分了工作界面,基本统一了手册的写作风格。

(2)技术为主,兼顾管理:手册重点内容涵盖了天然气开发各专业、各环节的技术问题,包括名词术语、公式原理、参数求取、开发指标、工艺方法等,也对天然气规划计划、开发技术经济评价、HSE等重要管理工作进行了阐述与归纳。

(3)共性集述,分类详解:在每个章节编写时,将章节中出现的共性内容放在前面集中阐述;然后根据不同气藏类型、不同开发过程、不同工艺方法等将特殊性内容分开详细阐述,使阐述的内容更有针对性。

(4)突出重点,体现实用。手册编写力求语言简练,尽量多的采用图表、公式等简洁的方式表达。在方法、公式的选择中尽量选用成熟、先进、实用技术,同时兼顾国内外新的标准、技术、规范,以及可预见的未来发展方向。

《天然气工程手册》第一分册《气藏工程手册》主要包括流体的物理化学性质与储层参数、气体渗流与试井、气藏工程设计、地质建模与数值模拟、动态监测与分析等9章,由李海平、郭平、陈建军组织主编,以西南石油大学、中国石油勘探开发研究院廊坊分院为主参与编写,并邀请西南油气田、长庆油田、塔里木油田、青海油田等主要油气田有关开发技术骨干参加编写。第二分册《采气工程手册》包括采气工程基础、完井试气、压裂酸化、采气和修井等9章,由张守良、马发明、徐永高组织主编,以中国石油西南油气田公司采气工程研究院为主体,并邀请其他主要油气田单位参加编写。第三分册《天然气集输工程手册》包括天然气集输管道、站场、设备、防腐与保温、自控、安全与环境等10章,由汤林、汤晓勇、刘永茜组织主编,以中国石油集团工程设计有限公司西南分公司为主,并邀请其他油气田设计单位参加编写。第四分册《天然气处理与加工手册》包括产品质量标准与测量方法、天然气脱水、脱硫、脱碳、凝液回收、天然气液化等14章,由孟宪杰、常宏岗、颜廷昭组织主编,以中国石油西南油气田公司天然气研究院为主,并邀请其他主要油气田单位参加编写。

由于《天然气工程手册》内容广泛,涵盖气藏类型多,内容涉及勘探开发到天然气集输处理加工的各专业。为了完成好这一编创工作,使手册充分反映我国天然气开发方面取得的技术进步,并具有较高的准确性和实用性,在编写组织上丛书组织者采取了产、学、研、管理人员相结合编写的办法,充分调动现场工程技术人员积极参与,成立了手册编委会、专家组、编辑组、编写组,多次召开编写讨论会、专家审稿会,请一批老专家进行了细致的把关审阅。尤其针对国内外天然气工程标准点的差异导致计算系数的变化情况进行了严格审查和复核。本手册历时8年才完成编写,凝聚了十余个单位百余名编写人员、老专家的心血与智慧。它的出版来之不易。

在此谨对参加本书编写、出版的中国石油勘探与生产分公司、中国石油咨询中心、西南油气田分公司、中国石油集团工程设计有限公司西南分公司、勘探开发研究院廊坊分院、长庆油田分公司、西南石油大学、石油工业出版社有限公司等单位和个人,对孟慕尧、金忠臣、袁愈久、刘同斌、陈赓良、许可方、魏顶民、孟宪杰、李士伦、闵琪、张化、杨莉娜、胡光灿、颜光宗、冈秦麟、李颖川、杨川东等老专家付出的辛勤劳动,表示衷心感谢。

考虑到本手册涉及的面十分广泛,我国天然气开发事业又处在快速发展之中,书中必定会存在不详尽、不准确甚至是错误的地方,请读者不吝赐教,以便于今后的修改。

编者前言

中国是世界上发现、开发和利用天然气最早的国家之一。据考证,在迄今为止 3000 多年的历史进程中,在中国版图的陆上和东海海上相继发现了天然气的有关记载。天然气的开采利用则首属四川盆地,当地人民发明了“卓筒井”(顿钻小口井)技术,但其开发技术只局限在钻井技术的突破上。自流井气田的规模开发以及利用天然气熬盐是气田开发最典型的代表,也是中国天然气开发史的初始阶段。

近年来,国家对优质能源和天然气化工原料的需求日益增长,不断推动了天然气勘探、开发工程技术进步,并逐步完善了适合于我国天然气工业发展特点的技术和理论,尤其使采气工程技术体系的轮廓渐渐清晰,形成了从完井、增产、采气到保持气井完整性修井作业等系统科学的工艺技术和装备体系。近 30 年来的技术发展,形成了以排水采气工艺为代表的有水气田开采技术,以碎屑岩压裂、碳酸盐岩酸化工艺为代表的低渗透气田开采技术,以高温、高压、大产量气井和高含硫气井完井、测试工艺为代表的含硫气田开采技术,以人工防砂工艺为代表的出砂气田开采技术,以及以带压作业为代表的井口控压作业技术和防止水合物生成的井下节流技术等系列采气工程技术。

2007 年,中国石油天然气集团公司正式启动了新的《天然气工程手册》编写工作,其中《采气工程手册》分册由中国石油西南油气田公司采气工程研究院牵头组织,由长庆油田分公司、塔里木油田公司、青海油田分公司和新疆油田分公司等相关单位联合编写。

历时多年时间,各油田公司和石油院校从事采气工程技术的专家、教授,通过反复讨论、修改,形成了《采气工程手册》分册。该分册收集整理了石油和天然气开采经验和科技成果,吸收了国内国际先进实用的技术,按照《天然气工程手册》编写要求,以定义、公式、说明、图表、数据为主,以文字为辅,重点介绍了采气工程相关知识和目前国内成熟的采气工程技术的工艺原理、流程、设计以及实现这些工艺的装备和工具,包括常用术语、采气工程基础、完井技术、压裂酸化技术、采气技术、修井技术、井口装置、油套管、封隔器及其辅助工具共 9 章内容。

参加编写的主要人员有张守良、马发明、徐永高、付永强、周理志、唐庚、郭建华、向建华、赵章明、刘华强、李玉飞、叶长青等,同时还有罗强、王威林、颜杰、田伟、张启汉、冯胜利、张敏琴、尹强、孙万里、桑宇、潘琼、李国、吴革生、梁蕊、蔡道钢、陈智、朱仲仪、杨涛、刘阳、白璐、钟晓瑜等同志提供了相关资料并参加了部分编写工作。全书由主编张守良、马发明、徐永高审定。在

编写过程中得到了中国石油大学李根生院士,中国石油天然气集团公司咨询中心李海平、魏顶明等教授级高级工程师,中国石油大学及西南石油大学的李相方、吴晓东、李明忠、陈德春、李颖川、郭建春等教授,以及西南油气田分公司刘同斌、颜光宗、杨川东等教授级高级工程师的大力帮助和指导,在此表示感谢。

由于编者水平有限,书中不当之处在所难免,恳请读者提出宝贵意见,以便改进完善。

目 录

第一章 常用术语	(1)
第一节 天然气常用术语	(1)
第二节 气井常用术语	(1)
第三节 气井增产技术常用术语	(3)
第四节 采气生产常用术语	(4)
第五节 气井修井常用术语	(5)
第二章 采气工程基础	(6)
第一节 流体物性参数	(6)
第二节 储层敏感性评价	(17)
第三节 气井出砂预测	(21)
第四节 气井腐蚀机理	(24)
第五节 工程参数相关计算	(30)
第六节 天然气开采安全常识	(33)
第三章 完井技术	(47)
第一节 井身结构	(47)
第二节 完井方式	(57)
第三节 射孔	(63)
第四节 试气	(80)
第五节 气井完整性管理与评价	(110)
第六节 特殊气井完井技术	(119)
第四章 压裂酸化技术	(139)
第一节 压裂与酸化	(139)
第二节 压裂液与酸液	(154)
第三节 支撑剂	(176)
第四节 实验评价	(179)
第五节 压裂酸化工艺设计	(200)
第六节 评估技术	(214)
第七节 压裂酸化装备	(218)
第五章 采气技术	(221)
第一节 气井生产诊断技术	(221)

第二节	天然气水合物预测与防治	(230)
第三节	井下节流技术	(234)
第四节	排水采气技术	(240)
第五节	酸性气井采气技术	(286)
第六节	出砂气井采气技术	(289)
第七节	气井试井工艺技术	(290)
第八节	采气工程方案编制要点	(314)
第六章	修井技术	(318)
第一节	常规修井技术	(318)
第二节	连续油管修井	(397)
第三节	不压井修井	(432)
第四节	带压更换井口主控阀	(451)
第七章	井口装置	(454)
第一节	采气井口装置	(454)
第二节	套管头	(461)
第三节	闸阀	(466)
第四节	井口安全阀及其控制系统	(469)
第五节	法兰和钢圈	(476)
第六节	压力表	(494)
第七节	井口自动化采集装置	(499)
第八章	油套管	(505)
第一节	油套管材质性能及选择	(505)
第二节	油套管连接螺纹	(512)
第三节	常用螺纹推荐上扣扭矩	(525)
第四节	常用油套管强度数据	(534)
第五节	油套管及环空容积数据	(534)
第九章	封隔器及其辅助工具	(555)
第一节	分类及型号编制方法	(555)
第二节	常用封隔器	(559)
第三节	国外永久式完井封隔器	(568)
第四节	封隔器力学计算	(583)
附录	石油工业常用单位换算表	(589)
参考文献	(593)

第一章 常用术语

采气工程是天然气生产过程中最重要的技术体系之一,在气井完钻后,为实现气田科学、安全、经济开发总目标,对天然气气藏和气井所采取的各项技术措施均属于采气工程范畴,包括完井、压裂酸化、采气工艺和气井修井工程等。本章简略介绍了涉及天然气、气井、压裂酸化技术、采气生产和修井技术等常用的技术术语,以便使用者查阅。

第一节 天然气常用术语

1. 天然气 natural gas

自然生成,在一定压力下蕴藏于地下岩层孔隙或裂缝中的,以低分子饱和烃为主的烃类气体和少量非烃类气体组成的相对密度低、黏度低的混合气体。

2. 酸性天然气 sour natural gas

含有较多的 H_2S 和 CO_2 等酸性气体的天然气。

3. 凝析气 condensate gas

当地下油气藏温度、压力超过其中液态烃临界条件后,液态烃逆蒸发而形成的气体。凝析气一旦采出油气藏,达到地表正常压力、温度条件而逆凝为轻质油,即凝析油。

4. 天然气水合物 natural gas hydrates

天然气中某些烃类气体组分与液态水在一定的温度、压力条件下形成的固体结晶体,俗称可燃冰。

5. 煤层气 coalbed methane

以吸附态赋存于煤层中的一种自生自储式的天然气。

6. 页岩气 shale gas

赋存于烃源岩富有机质泥岩及其夹层中,以吸附或游离状态为主要存在方式的天然气。

第二节 气井常用术语

1. 直井 vertical well

设计井眼轴线为一铅直线,实钻井眼轴线大体沿铅直方向,其井斜角、井底水平位移和全角变化率均在限定范围内的井。

2. 定向井 direction well

按照事先设计的具有井斜和方位变化的轨迹钻进的井。

3. 丛式井 cluster well

在一个井场内有计划地钻出两口或两口以上的定向井组,其中可含一口直井。

4. 水平井 horizontal well

先钻一直井段或斜井段,在目的层中井斜角达到 86° 以上时,再沿储层钻进一定水平长度的定向井。

5. 多底井 multi-bore well

在一个主井眼下面钻出两个或两个以上井底的定向井。

6. 分支井 multilateral well

是由一个主井眼(直井、定向井、水平井)中钻出若干进入气藏的分支井眼,以扩大泄气面积的井。

7. 井身结构 casing program

井眼中下入套管层次、深度、尺寸,以及各层套管外水泥返高的组合与结构,以保证井筒坚实耐用。

8. 表层套管 surface casing

为防止井眼上部地表疏松层的垮塌和上部地层水的侵入以及安装井口防喷装置而下的套管。

9. 技术套管 technical casing

为保证钻井顺利钻达目的层并有利于中途测试,对目的层上部的易塌地层及复杂的地层进行封隔而下入的套管。也称中间套管。

10. 生产套管 production casing

为保证正常生产和井下作业而下入井眼内的最后一层套管。

11. 人工井底 artificial bottom hole

固井时或井下作业结束后,留在套管内的水泥塞或桥塞上顶面井深。

12. 井深 well depth

石油工业对油气井长度的通称,它是从转盘面至井底轨迹的长度,即实际深度。

13. 油补距 tubing bushing elevation

从采气井口转换四通法兰上平面(或油管头上平面)到钻井时钻机转盘面位置之间的距离。

14. 套补距 casing bushing elevation

从套管顶部法兰上平面(或第一根套管接箍上平面)到钻井时钻机转盘面位置之间的距离。

第三节 气井增产技术常用术语

1. 水力压裂 hydraulic fracturing

通过压裂设备向目的层高压注入压裂液使底层破裂,并加入支撑剂,形成具有一定导流能力的裂缝,从而使井达到增产目的的工艺措施。

2. 直井分层压裂 separated fracturing

通过工艺或工具使井中各个目的层分隔开,逐层进行有针对性的压裂。

3. 水平井分段压裂 staged fracturing

通过工艺或工具使井中同一目的层分隔开,逐段进行有针对性的压裂。

4. 重复压裂 refracturing

指在一口井的同一层位进行的一次以上的压裂,又称多次压裂。

5. 前置液 preflush fluid

在水力压裂施工过程中,加支撑剂前所用的液体统称为前置液。

6. 携砂液 carrying fluid

在水力压裂施工过程中,用于输送支撑剂的液体称为携砂液。

7. 顶替液 displacement fluid

在水力压裂施工过程中用于将携砂液顶替至裂缝入口处的液体。

8. 水基压裂液 water base fracturing fluid

以水为溶剂或分散介质与各种添加剂配制的压裂液。

9. 泡沫压裂液 foamed fracturing fluid

以水或水基冻胶为外相,气体(氮或二氧化碳)为内相形成的压裂液。

10. 乳化压裂液 emulsified fracturing fluid

是用表面活性剂稳定的两相非混相液的一种分散体系压裂液。

11. 清洁(胶束)压裂液 clean(glue beam)fracturing fluid

在水力压裂过程中,用水作分散介质(溶剂),加入表面活性剂和助剂配制成的具有一定黏弹性的压裂液。

12. 支撑剂 proppant

在压裂施工过程中,用于支撑张开裂缝的具有一定强度的颗粒状物体,包括陶粒支撑剂、石英砂支撑剂和树脂涂层支撑剂。

13. 砂液比 ratio of proppant volume to fracture fluid volume

水力压裂施工中加入的支撑剂体积与所用纯液体体积之比。

14. 支撑剂铺置浓度 proppant loading concentration

单位裂缝面积上的支撑剂质量。

15. 酸化 acidizing

采用能够与储层岩石发生化学反应的酸液,在低于地层破裂压力下对储层进行的增产技术措施。

16. 酸压 acid fracturing

采用能够与储层岩石发生化学反应的酸液,在高于地层破裂压力下对储层进行的增产技术措施。

17. 土酸 mud acid

氢氟酸与盐酸的混合酸液。

18. 稠化酸 thickened acid

盐酸中加入增黏剂后黏度增大形成的酸,又称为胶凝酸。它可减缓反应速率,滤失减少,管道摩阻低,并在酸压裂时增加裂缝宽度。

19. 乳化酸 emulsified acid

由酸、油和乳化剂配成,能延缓酸与地层反应的油包酸乳状液。

20. 泡沫酸 foamed acid

由酸、气体和起泡剂配成,能延缓酸与地层反应的泡沫。

21. 缓速酸 retarded acid

为延缓酸与地层的反应速率,延长有效作用距离的酸。

第四节 采气生产常用术语

1. 油管压力 tubing pressure

井口油管的压力,简称油压。

2. 套管压力 casing pressure

井口套管和油管环形空间的压力,简称套压。

3. 井底流压 flowing bottom hole pressure

气井生产时井筒中储层中部的压力。

4. 流压梯度 flowing pressure gradient

气井正常生产时,每 100m 垂深的流体压力变化值。

5. 静压梯度 static pressure gradient

关井后,井底压力恢复到稳定时,每 100m 垂深的压力变化值。

6. 生产压差 production pressure differential

气井生产时,气藏压力与井底流压之差。

7. 绝对无阻流量 AOF

气井开井生产时,位于产层位置的井底流压等于 1atm 下的气井产气量。

8. 井底温度 bottom hole temperature

气井产层段中部的温度。

9. 气液比 gas - liquid ratio

它实际是天然气产量(标准条件下的)与液体产量的比值,其单位一般为立方米每立方米(m^3/m^3)。

第五节 气井修井常用术语

1. 井下故障 production well trouble

在生产井从投产直至报废的整个生产过程中,出现的生产不正常或达不到应有的配产指标,甚至停产以及井身结构和井下采气装置出现故障的总称。

2. 修井工具 workover tool

在修井过程中,下入井内进行井下作业施工的专用工具,包括打捞工具、钻磨工具、修套工具、解卡工具、井下作业检测工具和侧钻工具等。

3. 落鱼 fish

落入井内物体的统称。

4. 鱼顶 fish head

井下落物的顶部称为鱼顶。

5. 解卡 unfreezing

采取有效措施和工具,使井内被卡管柱恢复到能够正常起下的作业过程。

6. 套管修复 recovering casing

对井筒套管损坏部位进行修复的作业,其目的是恢复破损套管的承压功能,使井筒通道畅通。修复方法主要有套管整形、套管加固和套管补贴。

7. 开窗侧钻 window cutting sidetracking

采用造斜器和磨铣工具从套管壁上开出一个窗口,然后侧向钻进到地层中的工艺过程。

8. 打捞 fishing

用抓捞工具捞获井下落物并提出井口的作业。