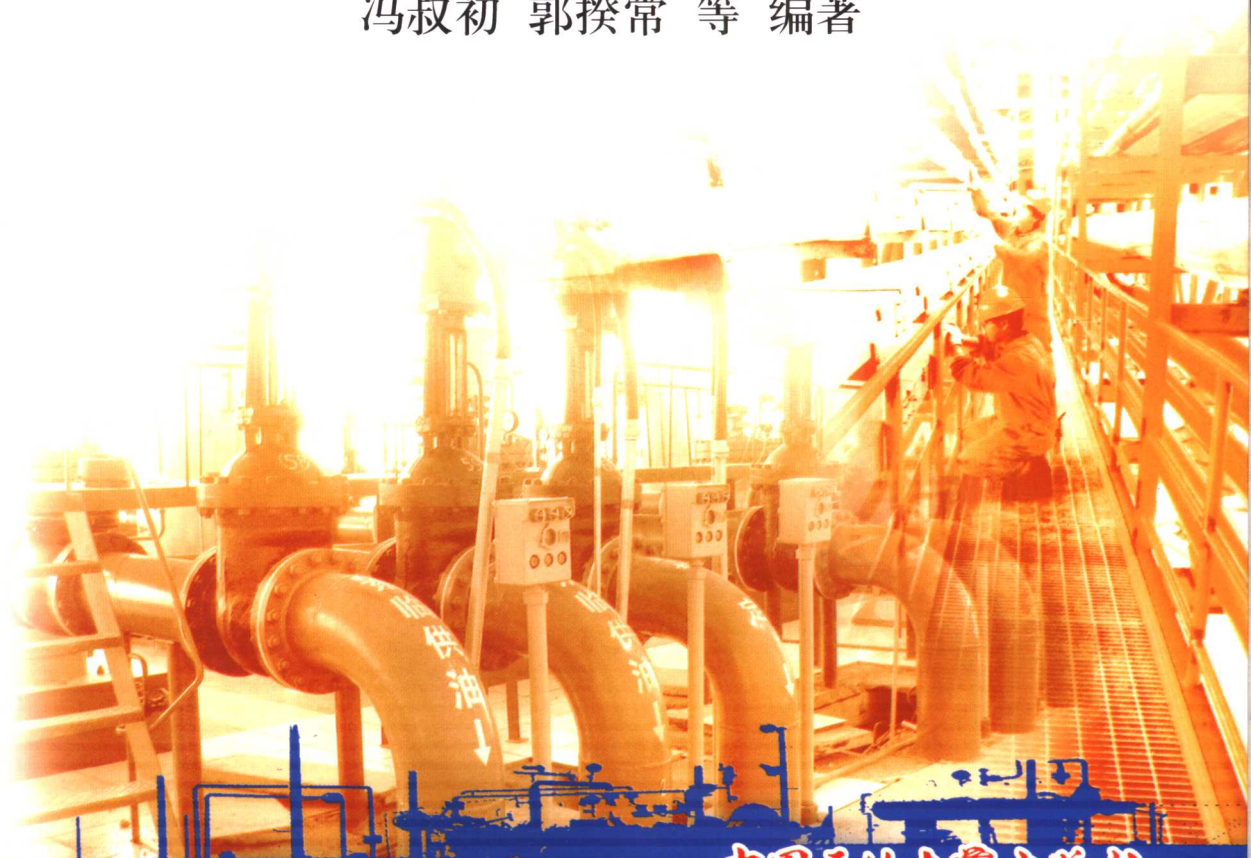




普通高等教育“十五”国家级规划教材

油气集输与矿场加工

冯叔初 郭揆常 等 编著



中国石油大学出版社



普通高等教育“十五”国家级规划教材

油气集输与矿场加工

冯叔初 郭揆常 等 编著

中国石油大学出版社

内 容 提 要

本书为油气储运专业的专业课教材之一。其内容包括油气集输流程、油气分类和性质、蒸馏原理、矿场集输管路、气液分离、原油处理(脱水)和稳定、气体脱酸气、气体脱水、气体加工、污水处理等。此外,对油气集输的上游环节油气田开发与开采工程也作了简要介绍。

本书除作为高校油气储运专业学生的教材外,还可作为采油专业、管理专业、自控专业和从事油气田油气集输与矿场加工系统设计、生产管理技术人员的学习参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

油气集输与矿场加工/冯叔初、郭揆常等编著.-2版-
东营:中国石油大学出版社,2006.5

ISBN 7-5636-2189-X

I. 油… II. 冯… III. 油气集输-高等学校-教材 IV. TE86

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 040367 号

书 名: 油气集输与矿场加工

作 者: 冯叔初 郭揆常 等 编著

出 版 者: 中国石油大学出版社(山东 东营,邮编 257061)

网 址: <http://cbs.hdpu.edu.cn>

电子信箱: upbook@mail.hdpu.edu.cn

排 版 者: 中国石油大学出版社排版中心

印 刷 者: 青岛星球印刷有限公司

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0546-8391797)

开 本: 170×225 印张:38.5 字数:710 千字

版 次: 2006 年 5 月第 2 版第 1 次印刷

印 数: 1—4000 册

定 价: 46.00 元

序 言

1964年北京石油学院的张英教授曾编写了一本石油及天然气储运专业用的校内教材《油气集输》，是本领域的开拓者和奠基人。1988年冯叔初、郭揆常等人编写了第一本公开出版的《油气集输教材》。1996年就筹措重编和再版工作，各编者也于1998年完成了稿件，但由于种种原因延误至2005年底才交付出版。

在教材的重编过程中，充分考虑了油气储运专业的教学计划和课程设置，油气并重，努力与国际接轨，增加例题使教材阐述的理论与工程实践更紧密结合等原则。

用“油气集输”描述油气田地面工艺系统的工作内容，可追溯至1959年石油工业出版社出版了一本由苏联学者А. М. Любков编著的《油气集输》中译本教材，“油气集输”的名称也一直沿用至今。近50年来，油气田地面工艺系统的工作内容已发生了巨大的变化，“油气集输”已不能概括油气田地面工艺系统的全部工作内容。因而，本教材定名为《油气集输与矿场加工》，使书名与教材内容更为贴近，也反映出近数十年来矿场油气加工事业的科技进步与蓬勃发展。

考虑到油气集输与矿场加工方面的教材和参考书短缺的现状，本教材力求用较通俗的文字阐明某些基本概念，以满足学生及多层次读者的需要。由于油气储运专业学生对油气加工基础知识的了解较少，本教材把油气物性、相平衡、蒸馏等作了专门的简要介绍，并搜集了较多的经验数据、图表和相关式，便于油气加工知识薄弱的读者也能应用这些前人归纳的实际经验解决工程问题，并有工程容许误差范围内的准确性。

国内石油界所用的某些技术术语，与国外有一定的差别。例如，原油脱水的“水”，国外常用“BS & W”表示，意为“水和固体悬浮物”，常用“原油处理”表示从原油中分离出水 and 固体悬浮物的工艺环节。又如，国外常用“甜气”描述不含硫或含硫极少的天然气，我国则极少使用“甜气”这一术语。再如，我国称为“稳定轻烃”的戊烷及重于戊烷的烃类混合物，国外称为“天然汽油”或“轻质石脑油”。为了和国际接轨，教材内对这些术语都有一定阐述。在教材编写过程中，参阅了较多的西方文献，因而教材内政策性内容摆脱了计划经济模式的影响，体现了市场经济的运作规律。

本教材主要内容包括：油气集输流程，矿场集输管路，气液分离，原油处理

(脱水),原油稳定,天然气脱酸性气体,气体脱水,天然气凝液回收和加工,污水处理等。对油气集输与加工环节上游的油气藏开发与开采也作了简要的介绍。

胜利油田规划设计院朱铃教授级高工在百忙中为本教材编写了绪论;上海石油天然气总公司郭揆常教授级高工编写了相平衡、蒸馏、原油稳定、气体脱酸气、脱水和轻烃回收等内容,为本书的编写做出了重大贡献。中国石油大学(华东)李玉星教授编写了有关污水处理的内容;其余由冯叔初编写并负责统稿工作,并为全书编写了例题、习题和术语索引。

由于各编者完成稿件较早,在统稿过程中又查阅了大量国内外近期文献,遵循教学规律对原稿件做了较大幅度的改动,补充了新技术、新工艺和新设备。把油气分类、物性、相平衡、蒸馏原理等内容集中在一章,作为基础知识。把原稿件“原油与天然气的分离”更改为“气液分离”,除讲述油气、油气水分离外,还涉及气体加工中使用的分离器、涤气器等内容。“气体净化”扩展为“气体脱酸气”和“气体脱水”两章。把原稿件的“轻烃回收”改成“气体加工”,内容从轻烃回收延伸至液化天然气。这些改动和补充,使教材内容更完善更系统,并强化了气体加工内容,以适应天然气在当代能源结构中的地位。

胜利油田朱铃审阅了本教材的第一、四、五、六章;孙晓春高级工程师审阅了第七、八章;中国石油大学(北京)张文慧教授审阅了第九章;胜利油田东辛采油厂卢明昌教授级高工,中国石油大学(华东)闫来洪、赵东风等审阅了第十章。他们对教材提出了许多宝贵意见,无私地提供了积累的技术资料,使编者受益匪浅。

在本教材的编写过程中,得到中国石油天然气总公司黄新生教授级高工、刘爱国、汤林等领导的关心,提供了宝贵的技术资料。还得到许多领导和校友的关心和支持,给编者注入了极大的精神动力,在此表示衷心的感谢。在编写过程中,研究生胡其会做了大量辅助工作。

由于编者,特别是统稿者的水平有限,教材中难免存在不少缺点和错误,恳请读者斧正。

冯叔初 于东营市
2005年12月

目 录

绪 论	1
一、油气集输在油气田开发中的地位和任务	1
二、油气集输系统的工作内容和建设特点	1
三、油气集输流程	4
四、气田集气系统	18
习题	20
参考文献	21
第一章 油气田的开发和开采	22
第一节 石油由地层向井底的流动	22
一、油田、油层、油藏	22
二、储油岩石的物理性质	28
三、油藏流体的物理性质	34
四、地质储量和可采储量	38
五、驱动能量及驱动方式	38
六、石油向井底的流动	42
七、油井增产措施	47
八、提高油藏采收率的方法	50
第二节 油气在井筒中的流动	55
一、自喷和气举采油	55
二、深井泵采油	65
习题	72
参考文献	73
第二章 油气性质和基础理论	74
第一节 油气性质	74
一、原油	74
二、天然气	90
第二节 气液相平衡	106
一、烃系的相特性	106
二、双组分物系的气液平衡	111

三、烃类物系的气液平衡	118
第三节 蒸馏	137
一、闪蒸-平衡汽化	137
二、简单蒸馏-渐次汽化	138
三、精馏	139
习题	144
参考文献	144
附录	145
第三章 矿场集输管路	148
第一节 原油管路	149
一、等温输油管的工艺计算	149
二、热油管路的工艺计算	155
第二节 简单输气管路	157
一、水平输气管的基本方程式	157
二、输气管常用计算式	159
三、输气管的压力分布和平均压力	160
四、输气管的温度分布和平均温度	161
第三节 油气混输管路	162
一、气液两相管流的参数和术语	163
二、流型	169
三、两相流基本方程	175
四、两相流压降计算式	183
五、两相流温降计算	196
六、段塞、清管与磨蚀	200
七、多相泵	205
习题	210
参考文献	211
第四章 气液分离	213
第一节 油气两相分离器	213
一、分离器类型和对分离器要求	213
二、从气体中分出油滴	218
三、从液相内分出气泡	232
四、分离器外形尺寸	235
五、分离器内部构件	239

第二节 油气水三相分离器	241
一、三相分离器的原理和结构	242
二、油水分离的计算	245
第三节 分离器结构、控制和安全	247
一、几种国外分离器	247
二、设计中若干问题	251
三、控制和安全	255
第四节 多级分离	261
一、分离方式	261
二、多级分离效果	262
三、分离级数和分离压力选择	265
第五节 特殊分离器	266
一、液塞捕集器	266
二、低温分离器	268
三、气液圆柱形旋流分离器	269
习题	270
参考文献	271
附录	272
第五章 原油处理	277
第一节 原油乳状液	278
一、乳状液类型	278
二、乳状液生成机理	280
三、乳状液的稳定性	285
四、乳状液的其他物性	286
第二节 原油处理的基本方法	289
一、常用术语	289
二、化学破乳剂	290
三、重力沉降	295
四、加热	304
五、机械处理	306
六、离心脱水	307
七、静电处理	309
八、蒸发处理	318
第三节 原油处理设计	319

一、设计步骤	320
二、设备尺寸的确定	320
三、脱水流程	328
习题	329
参考文献	330
第六章 原油稳定	331
第一节 稳定目的和要求	331
一、稳定目的	331
二、稳定要求	333
第二节 原油稳定方法	334
一、原油蒸气压	334
二、多级分离	337
三、闪蒸稳定	338
四、分馏稳定	350
五、稳定方法选择	357
第三节 脱硫和烃蒸气回收	360
一、脱硫	360
二、储罐烃蒸气回收	361
习题	362
参考文献	364
第七章 气体脱酸气	365
第一节 脱酸气方法	367
一、脱酸气方法	367
二、吸收与解吸	368
第二节 化学吸收法脱酸气	372
一、醇胺与酸气的反应	372
二、流程	373
三、醇胺和碳酸钾	374
四、主要设备	379
五、操作	385
第三节 其他脱酸气方法	387
一、物理溶剂吸收法	387
二、混合溶剂吸收和 sulfinol 法	389
三、直接氧化法	390

四、间歇法	393
五、膜分离	395
第四节 脱酸方法选择	397
习题	400
参考文献	401
第八章 气体脱水	402
第一节 气体水合物	402
一、气体饱和水含量和露点	402
二、水合物结构	407
三、水合物生成条件	408
四、防止生成水合物的方法	413
第二节 甘醇脱水	420
一、甘醇脱水流程	420
二、主要设备和操作参数	423
三、设计计算	429
第三节 固体干燥剂脱水	434
一、吸附操作原理	434
二、固体干燥剂	437
三、脱水流程和设备	441
四、设计	443
五、操作和参数	447
六、吸收与吸附脱水比较	449
习题	450
参考文献	451
第九章 气体加工	452
第一节 凝液回收的目的和方法	452
一、回收目的	452
二、回收方法	458
三、回收方法比较和选择	463
第二节 制冷方法	464
一、蒸气压缩制冷	464
二、膨胀机制冷	476
三、制冷设备的近期发展	484
四、冷箱	486

第三节 凝液回收	487
一、浅冷法	487
二、中冷和深冷法	491
三、国外凝液回收工艺的发展	494
第四节 凝液分馏	498
一、凝液稳定	498
二、凝液分馏	501
三、分馏塔计算	503
第五节 液化天然气	524
一、概况	524
二、液化厂类型	525
三、组成与物性	526
四、液化工艺	531
五、CO ₂ 和 N ₂ 的处理	534
习题	536
参考文献	538
附录	540
第十章 污水处理	546
第一节 污水组成和性质	546
一、污水来源和组成	546
二、污水性质	549
三、污水杂质引发的问题	550
第二节 污水处理方法和流程	559
一、水质要求和处理方法	559
二、重力分离、凝聚和絮凝	565
第三节 污水处理设备	569
一、立式除油罐	569
二、斜板除油罐	572
三、粗粒化除油罐	574
四、旋流分离器	575
五、气浮机	580
六、过滤罐(器)	584
第四节 处理系统的其他问题	590
一、溶解气脱除	590

目 录

二、防垢,缓蚀,杀菌和密闭	592
习题	595
参考文献	596
索 引	597

绪 论

一、油气集输在油气田开发中的地位和任务

油(气)田开发包括油藏工程、钻采工程及油(气)田地面工程。油藏工程研究待开发油田的油藏类型、预测储量和产能、确定油田的生产规模和开发方式;钻采工程研究钻井、完井工艺及油田开采工艺;地面工程包括油气集输与油气矿场加工(以下简称油气集输)、油田采出水处理、供排水、注水(注气、注汽、注聚)、供电、通讯、道路、消防等与油田生产密切相关的各个系统。在建设投资中,地面工程约占油田开发总投资的 30% ~ 40%, 占气田投资的 60% ~ 70%。

油气集输系统的功能是:将分散在油田各处的油井产物加以收集;分离成原油、伴生天然气(以下简称天然气)和采出水;进行必要的净化、加工处理使之成为油田商品(原油、天然气、液化石油气和天然汽油)以及这些商品的储存和外输。同时油气集输系统还为油藏工程提供分析油藏动态的基础信息,如:各井油气水产量、气油比(101.325 kPa、20 °C 下,天然气与原油产量之比, m^3/m^3 或 m^3/t)、气液比(天然气与所产液量之比, m^3/m^3 或 m^3/t)、井的油压(油管压力)和回压(井出油管线起点压力)、井流温度等参数及随生产延续各种参数的变化情况等,使油藏工作者能加深对油藏的认识,适时调整油田开发设计和各油井的生产制度。因而油气集输系统不但将油井生产的原料集中、加工成油田产品,而且还为不断加深对油藏的认识、适时调整油藏开发设计方案、正确经济地开发油藏提供科学依据。

二、油气集输系统的工作内容和建设特点

图 1 表示油气生产工艺系统的全部内容及其产品。

油井生产的产物,经集中并初步分离为油、气、水三种流体。含油污水经水处理后,由注水井回注地层,以保持地层的能量。

原油经脱盐降低盐含量后,进行稳定或拔顶(从塔器顶部抽出轻质油蒸气),稳定后的原油作为油田产品送往炼厂。

含 H_2S 、 CO_2 、 H_2O 的酸性湿天然气进行初步脱水,以控制对设备和管道的腐蚀。然后,脱除 H_2S 和 CO_2 ,使酸性天然气变为“甜”天然气。从脱出的 H_2S 内回收硫磺,为制酸工业提供原料。 CO_2 或回注地层、或出售、或放空。“甜”天然气

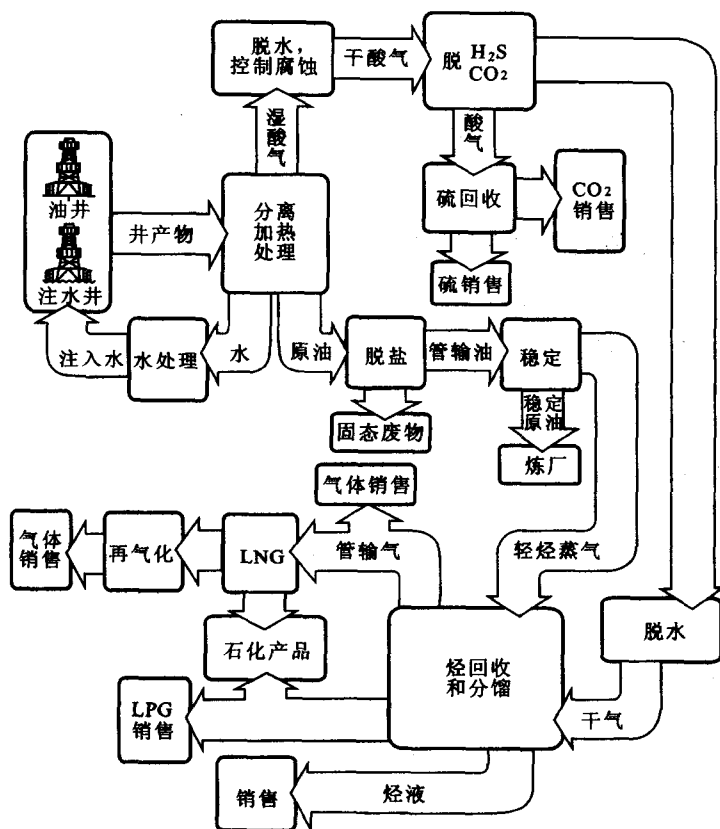


图1 油气生产工艺系统^[7]

需进一步脱水,并和原油稳定单元来的拔顶气汇合,在烃液回收单元将气体内较重的烃类变成液体,这项工作称天然气凝液回收,或称轻烃回收。天然气凝液加工成液化石油气(C_3 、 C_4 烷烃)和稳定轻烃 C_4^+ (也称天然汽油或轻质石脑油)。液化石油气作为油田产品外销,或供石油化工厂做原料。稳定轻烃外销。

在凝液回收单元的不凝气,主要为 C_1 和部分 C_2 ,经管道送往用户,或部分气体供给液化天然气(LNG)厂。液化后的天然气,可供石油化工厂做原料,或再汽化为用户提供调峰天然气。

由于油田所处的自然和社会环境不同,油藏类型、规模,原油与天然气组分和物理性质不同,因而各油田并非必须具备上述油气生产的全部工艺环节。例如,除个别特例外,我国所产原油盐含量很少,在矿场一般不进行脱盐,脱盐工作放在炼厂。又如,我国天然气脱酸气和脱水常集中在一个厂区内,不必进行天然

气两次脱水。只有海洋开采石油时,为减少平台面积,平台上只设脱水单元,防止海底油气输送管道腐蚀,油气加工单元设在陆上,才需两次脱水。图 1 全面而直观地表示了油田所产油气水的流向、各种加工处理环节和产品。

尽管因各油田的具体情况不同,构成了不同的符合各油田情况和特色的油气集输系统,但各油田的油气集输系统也存在一定的共性:接收油井流出的原料,生产出油田产品。除个别特殊油田外均有与图 1 类同的主要工作内容,我国石油工作者将油气集输归纳为图 2 所示的方框流程。

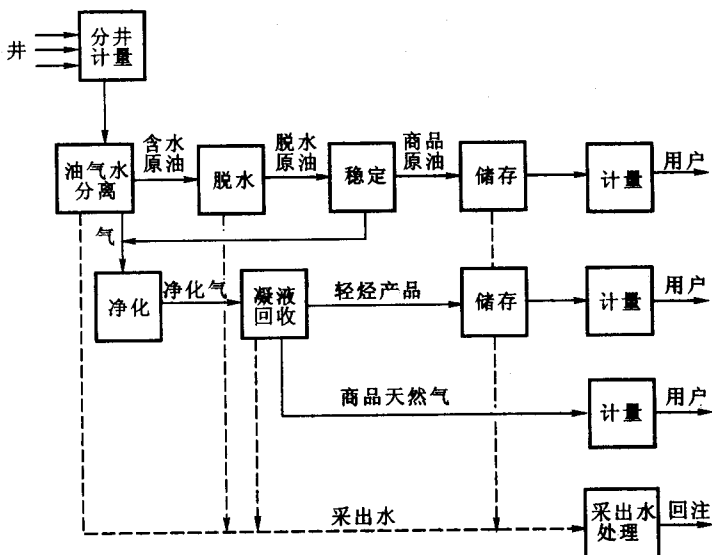


图 2 油气集输系统的工作内容

按图 2,油气集输的主要工作内容包括:

(1) 油井计量 测出每口油井产物内原油、天然气、采出水的产量,作为分析油藏开动态的依据。

(2) 集油 将计量后的油井产物(油、气、水)或油水混合物集中,通过管线输送至有关站场进行处理。

(3) 集气 将油田内部一级油气分离器分出的天然气通过管线输送至气体处理厂进行净化和加工。

(4) 油气水分离 将井流分离成原油、天然气、采出水。必要时,还需分离出井流中所含的固体杂质。

(5) 原油处理(脱水) 含水原油经破乳、沉降、分离,脱除游离水、乳化水和悬浮固体杂质,使商品原油含水率小于规定的质量标准。

(6) 原油稳定 脱出原油内易挥发组分,使原油饱和蒸气压等于或低于商品原油规定的标准。稳定过程中产生的呈气态的易挥发组分送气体处理厂回收凝液。

(7) 原油储存 将符合商品原油标准的原油储存在矿场原油库中,以调节原油生产和销售间的不平衡。

(8) 天然气净化 净化包括脱出天然气中的饱和水和酸性气体(H_2S 、 CO_2)。通过脱水,使气体在管线输送时不析出液态水,以满足商品天然气对水露点的要求;或用冷凝法回收凝液时不析出液态水。商品天然气对酸性气的含量也有严格规定,原料气内酸性气含量超过规定值时,需要脱除硫化氢、二氧化碳等酸性气体。

(9) 天然气凝液回收 油田伴生气中含有较多的、容易液化的丙烷和比丙烷重的烃类,回收天然气中重烃组分凝析液,可满足商品天然气对烃露点的要求。加工天然气凝液可获得各种轻烃产品(液化石油气、天然汽油),提高油田的经济效益。

(10) 凝液储存 将轻烃产品储存在压力储罐中,以调节生产和销售的不平衡。

(11) 采出水处理 将分离后的油田采出水进行除油、除机械杂质、除氧、杀菌等处理,使处理后的水质符合回注油层或国家外排水质标准。

油田开发和建设是分阶段实施的。油田开发面积和油井的数量会不断增加,因而油气集输系统也必须分期建设。同时已投产油区的生产又是动态的,随开采时间的延续,油井产物中水含率、携砂量会逐渐增高,采油量、气油比逐年下降,原来的自喷井变为间歇自喷或改为抽油井,油井的采油层系也可能发生调整,有的生产井可能转为注水井等,这就要求油气集输系统做出相应的调整以适应油田生产的动态变化。集输系统的设计应以油藏地质师提供的今后 15 年内油田油气水产量预测资料为依据,既应满足当前油田生产需要也应考虑系统对油田中远期生产的适应能力和扩建、改造的可行性。每期建设的适应期应为 5 ~ 10 年,在该期间内应以集输系统最少量的变化适应油田生产的动态变化。

三、油气集输流程

收集油井产出的油、气、水混合物,按一定顺序通过管道,连续地进入各种设备和装置进行处理,获得符合质量标准的油气产品,并将这些产品输送到指定地点的全过程,称为工艺流程。油气集输流程是油气在油田内部流向的总说明,图 1、图 2 即为简单的油气集输方框流程。集输流程通常由油气收集、加工处理、输送和储存等环节组成。油田集中处理站的主要功能是将各井所产原油进行脱水、稳定,生产出商品原油的场地。从油井到集中处理站的流程称集油流程,从

集中处理站到矿场油库的流程称输油流程。各油田的输油流程没有本质上的区别,因而讨论的重点是集油流程。某些西方国家所属油田,集中处理站上游部分归采油公司所有,下游部分归管道公司所有,管道公司的管道深入油田内部从各集中处理站获取商品原油,将其集中至输油干线首站输送至用户。这种深入油田内部从各集中处理站收油的管道,国外称为集油管线。

(一) 集油流程

集油是收集、计量油井产物的过程。国内外的集油流程大体分为三类。一类是产量特高的油井,每口井有单独的分离、计量设备,有时还有单独的油气处理设备,这种流程的经济性一般较差;第二类为计量站集油流程,每口油井有单独的出油管线(管径一般为 50~100 mm)把油井产物送往(分井)计量站,在计量站内轮流计量每口油井的油气产量,此后与其他油井产物汇合输往集中处理站,这种流程的使用最为广泛,见图 3 所示;第三类为多井串联集油流程,若干口井共用一根出油管线,将井流送往集中处理站进行气液分离、原油脱水和稳定,由设在各井场上的计量分离器对油井产量进行连续计量,或用移动式计量装置对各井进行周期性计量,见图 4 所示。我国油田采用的集油流程多数为第二类,少数为第三类流程。

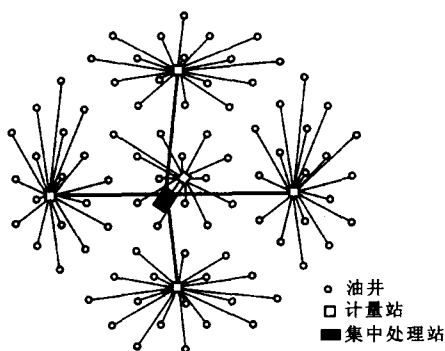


图3 计量站集油系统

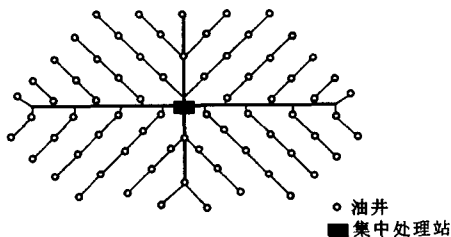


图4 多井串联集油系统^[1]

计量站是对所辖油区各油井油气水产量进行计量的场所。计量站获得的各井产量资料虽然对认识油藏性质、分析油井和油藏的动态十分重要,但不要求有很高的计量精度,油气水的计量误差容许在 $\pm 10\%$ 以内。计量站对各油井进行轮流计量,每口井每次连续计量时间为4~8h,生产波动较大的井可延长计量时间到8~24h,每口井间隔10~15d(某些国外文献规定为4~7d)计量一次。计量站管辖的油井数一般少于20口,多于20口井时应在站内增设第二套计量装