

TILAO CAIYOU GONGYI JISHU

提捞采油 工艺技术

白玉 孙庆友 李青/编著

石油工业出版社

提捞采油工艺技术

白 玉 孙庆友 李 青 编著

石油工业

内 容 提 要

本书是我国第一部系统论述提捞采油工艺的专业书,该书简要论述了提捞采油工艺原理、发展过程及工艺现状,对有关主要设备及生产管理等方面的内容和对当前提捞采油的几种工艺方式的特点进行了分析讨论,提出了目前存在的问题和攻关方向。

本书的读者对象,是提捞采油生产现场的应用技术人员、管理工作,以及提捞采油设备设计、制造者,同时也可供石油院校有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

提捞采油工艺技术 / 白玉等编著 .

北京:石油工业出版社,2002.8

ISBN 7-5021-3896-X

I. 提…

II. 白…

III. 机械采油-生产工艺

IV. TE355.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 060245 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)

北京乘设伟业科技排版中心排版

北京密云华都印刷厂印刷

全国新华书店总经销

*

850×1168 毫米 32 开本 4 印张 250 千字 印 1—1200

2002 年 8 月北京第 1 版 2002 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-3896-X/TE·2816

定价: 12.80 元

《提捞采油工艺技术》

编写人员

编 著：白 玉 孙庆友 李 青
主 审：孙庆友
参加编写人员：王庆丰 曹建达 李海龙 赵永军
万 江 周秀斌 秦忠诚 于红军
陈国华 李 志 刘 斌 孟凡平
刘 锐 尹龙范 王成武 刘 伟
国兴全 黄胜江 王建伟 于长江
吴点顺 刘 婧 朱 波 李建国
王佰军 窦月敏 王鸿雁 张 发
李运福 于东红

前 言

油井以提捞方式采油,在我国已有悠久的历史,但作为一种采油方式进入规模生产应用,则还是近几年的事。目前,提捞采油已由试验尝试发展到一定规模的生产应用,提捞采油工艺处于百花齐放阶段,各家所设计试用的提捞采油装备,有所短亦有所长,并且一些新介入该领域的设计制造者还在走初试者已走过的弯路,提捞采油工艺尚未定型,标准化、系列化的形成尚待时日。鉴于此,作为提捞采油工艺的初探者,感到有必要撰写一本关于提捞采油方面的书,并真诚地希望本书能对从事提捞采油的生产者及提捞装备的设计制造者起到借鉴作用,对我国的提捞采油事业的发展有所裨益。

由于提捞采油工艺技术实在太年轻了,国内从1995年才开始广泛研究与规模应用,即使从美国1994年研究成功的提捞车算起,距今也不超过8年,均属实用新型知识产权保护时间范围,因此,尽管在提捞采油工艺范围内这几年来有很多好的工艺、做法及技术上的突破,但作为公众读物的本书来说,也不便作更具体的技术介绍,只能从提捞采油的工艺原理、基本技术界限、生产应用需求等方面进行宏观论述,使初涉此领域的设计制造者及生产应用者对提捞采油有一个比较系统的基本认识。

诚然,由于提捞采油工艺技术尚处于迅速发展过程中,是一种新工艺技术,鉴于作者理论与实践的局限性,书中所言难免有不当之处,在此敬请有识之士批评指正。

在此书撰写过程中,得到原大庆石油管理局总工程师胡博仲同志和石油工业出版社特约编审孙冠杰同志的大力支持与协助,在此一并致谢。

编 者

2002年6月13日

目 录

| | |
|------------------------------------|------|
| 第一章 提捞采油概述 | (1) |
| 第一节 提捞采油的发展历程..... | (1) |
| 第二节 提捞采油的特点及应用条件..... | (6) |
| 第三节 提捞采油的基本工艺流程..... | (9) |
| 第四节 提捞采油的供、采协调关系..... | (10) |
| 第五节 提捞采油对油井产能和原油物性的影响 | (13) |
| 第二章 提捞车 | (16) |
| 第一节 提捞车的主要结构组成 | (16) |
| 第二节 提捞车应具备的使用功能 | (19) |
| 第三节 提捞车的功能参数需求 | (27) |
| 第四节 提捞车的各种结构形式及其优缺点 | (33) |
| 第三章 提捞泵 | (37) |
| 第一节 提捞泵的基本工作原理 | (37) |
| 第二节 提捞泵的加重工艺 | (39) |
| 第三节 提捞泵与钢丝绳的连接工艺 | (41) |
| 第四节 提捞泵的过载防范措施 | (45) |
| 第五节 提捞泵的防绳打扭工艺 | (46) |
| 第四章 捞油井口 | (48) |
| 第五章 运油罐车 | (52) |
| 第一节 车型和罐容的选择 | (52) |
| 第二节 运油罐车的油罐工艺 | (55) |
| 第三节 运油罐车设计过程中对相关生产应用需求的考虑 | (59) |
| 第六章 转油站 | (61) |
| 第七章 提捞采油涉及的其他生产配套工艺设备 | (64) |
| 第一节 吊车 | (64) |

| | | |
|-------------|---------------------------------|--------------|
| 第二节 | 锅炉车 | (67) |
| 第三节 | 通井工具 | (69) |
| 第八章 | 提捞采油的生产管理 | (71) |
| 第一节 | 提捞采油的资料录取与建立 | (71) |
| 第二节 | 提捞采油井的工作制度 | (73) |
| 第三节 | 滚筒绳量的计算 | (75) |
| 第九章 | 提捞采油的经济效果分析 | (81) |
| 第一节 | 提捞采油的一次投资 | (81) |
| 第二节 | 提捞采油的年均生产费用 | (84) |
| 第三节 | 抽油机采油的一次投资 | (86) |
| 第四节 | 抽油机采油的年均生产费用 | (88) |
| 第五节 | 提捞采油与抽油机采油的经济对比 | (89) |
| 第十章 | 提捞采油工艺目前存在的问题及发展方向 | (99) |
| 第一节 | 提捞采油工艺目前存在的问题 | (99) |
| 第二节 | 提捞采油工艺的发展方向 | (103) |
| 附录 | 平台轨道提捞机研制技术方案 | (105) |
| 参考文献 | | (119) |

第一章 提捞采油概述

第一节 提捞采油的发展历程

我国在解放前开发的延长油矿和玉门油田,由于其开发较早,单井产能也低,所以也是较早试用提捞采油的油田,但没有形成生产规模,而只是在个别井上应用。辟如延长油矿,到 1996 年时,也只有 2 台捞油车,在 5 口井上捞油生产。其工艺是用 5t 卡车背 7m 长井架,以吊筒提放的井下工艺提捞。这是针对其井筒为裸眼完成,原油粘度特低而采取的可行性工艺。因每次只能提捞几十升,生产率低,只应用于井深 200m 左右的浅井。而长庆油田以失去行走能力的修井作业机作为固定式绞车,通过常架于井口的作业井架,将油抽子放入油管内,在中深井中捞油,单次提捞量可达到几百升。

解放后,20 世纪 60 年代我国开发的各大油田,特别是大庆、胜利、辽河东三油田,单井产能高,油井多是以自喷方式投入采油生产,进入 80 年代后,由于含水上升产油量下降,陆续以抽油机或电潜泵方式转抽,以提高产液量、稳定产油量。而七八十年代以后陆续投入开发的外围低渗透油田,由于其三低(油层压力低、渗透率低、单井产能低)三高(原油粘度高、含蜡量高、凝固点高)特点,没有自喷生产阶段,直接以抽油机采油方式投入采油生产。

随着生产时间的延续,单井产能下降成为必然,到 90 年代中期,部分井已在常规抽油机采油的经济界限以下运行。特别是对于已探明待开发的低渗透油田中丰度更低的区块,今后如何经济地投入开发就成了我们要解决的问题。因此,探讨能降低特低产井采油生产费用的采油方式,必然成为采油工作者的研究课题。鉴于此,吉林油田和大庆油田于 1995 年和 1996 年分别研究和试验提捞采油方式。

这一时期的提捞采油井下工艺,主要是以阀抽子的工作原理为基础,结合防打扭、防过载等措施,设计成结构各异的提捞泵,在试用中不断简化或改进与完善(这期间也有人以成串捞筒下井试验,因其不适合高粘度的原油条件以及其生产率低不适用于中深井,自然失败)。在解决提捞泵克服井筒阻力入井的问题上,也经历了随泵车载加重块、充电电池及明火对加重块加热,以及向井内临时加热化学药剂等办法,探讨解决提捞泵入井及突破死油盖子的问题。历经试验后,最后以常挂井内的长、重加重柱方式解决了这个问题,并推广应用。

这一时期的地面捞油作业设备,也经历了链轨作业机装配小支架、作业机远程对井口小井架、胶轮作业机配液压支架、胶轮拖拉机配井口井架等方式的试验,最后吉林油田以黄河 171 卡车为底盘,上装以类似于修井机的后立井架,构成了能稳定用于生产的捞油车;大庆油田以 T815 卡车为底盘,上装以类似于吊车的可上扬和伸缩的井架,构成了能稳定用于生产的提捞车,如图 1—1 所示。这期间也有人以胶轮拖拉机为动力,在拖车上加滚筒侧



图 1—1 全液压驱动提捞车

向对井口小井架入井,因缺乏排绳及负载能力分析,下井后以吊车起出便告失败。

上述研究及实验约历时两年,能稳定用于采油生产后,各低渗透油田相继组织捞油队伍开展捞油工作。具有相应实力的一些油田或地方的机械生产厂家相继开展生产制造提捞车,如徐州重型机械厂、吉林石油机械厂、大庆石油管理局总机械厂、南阳石油机械厂、哈尔滨石油机械厂等。这时美国于 1994 年研制出的捞油车,其上装也被引进到中国,如辽河、大庆等大油田都引进一二台试用。

在以燃油为动力的汽车及胶轮车(包括轮式作业机和拖拉机)为底盘的提捞车能够正常生产应用后,吉林油田和大庆油田又针对丛式井井口集中和井场已有电源的生产条件,先后各研制了两台轨道式提捞机,该提捞机以电动机为动力,以铁路为行走基础,其中吉林油田是针对

线状排列的井口铺设直轨铁路,铁轨下为水泥基础。井口在两根铁轨中间,提捞机骑井作业,采用类似于钻井的立式井架。大庆油田研制的提捞机是针对环状排列的井口铺设环形铁路,轨路在井口环的内侧,铁轨下铺枕木,采用侧向伸缩井架。

综上所述,1995~2000年,是提捞采油工艺的广泛探索和研究阶段,最终形成了可稳定应用于中深井采油生产的第一代提捞车。第一代的提捞车尽管各制造厂家所采用的底盘车五花八门,上装局部结构各异,但就其主流特征来说,是以成品卡车或胶轮车为底盘,以底盘车发动机为动力,沿袭了修井机和吊车的作业动力驱动方式和架体结构方式。

第一代提捞车的成功应用于生产,使提捞采油由个别井的拾遗补缺式的零星应用,发展到中深井上批量应用,真正成为一种采油方式,为低渗透油田的特低产井降低采油生产成本在工艺技术上奠定了基础(如图1—2所示)。同时也使外围无电源零散井的及时投产成为可能。



图1—2 提捞采油工作现场

第一代提捞车尽管能成功应用于生产,但还不够理想,其共性弱点就是上装作业机械质量大,重心高。需要的底盘车吨位大,导致整车质量大,造价高,越野机动性能差。

针对第一代提捞车质量大、造价高、越野性差的共性弱点,提捞工艺的先

期研发者和特种车辆生产者又各自分别研制了第二代提捞车,如图 1—3、图 1—4 所示。目前两处的研制工作均已完成。其中提捞工艺的先期研究发明者是针对提捞车的上装攻关,突破了第一

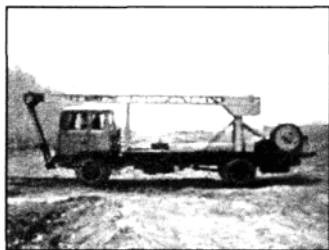


图 1—3 A 种第二代提捞车
代提捞车的流行工艺结构。一是创立了新的排绳方法,成功地解决了由排绳因素制约的滚筒位置高、直径大导致的整车吨位大的问题;二是以简单的机械结构驱动井架的各项运动,去掉了



图 1—4 B 种第二代提捞车

液压系统;三是设计了泵到位后可自动脱离的井口插接工艺,不再使用连丝扣、压锁球、上剪销等既费事又不安全的井口连接工艺,使井口的对接简单、安全、不留残余油段;四是以机械仪表取代了流行的电子计载计深仪表,使其不惧低温和恶劣的工作环境,增强了可靠性(如图 1—5 所示);五是对滚筒的气制动和人力手制动均可在驾驶室由操作者直接操纵,强化了安全保障。该研究结果形成的第二代提捞车,其上装质量较第一代降低约 30%,造价降低约 40%。相应地可降低对底盘车的需求吨位,或在同吨位底盘车条件下提高越野机动性。

而特种车辆生产者研制的第二代提捞车,主要是从



图 1—5 机械式计载计深仪表

提高提捞车的动力性能和越野能力上入手,将底盘车和上装溶为一体,作为一个整体系统,以装载机底盘为基础,将装载机构改为捞油作业机构。但该研究对上装的工艺结构没有革命性改变。

第二节 提捞采油的特点及应用条件

一、提捞采油的生产特点

在提捞采油以外的各种机械采油方式中,无论是抽油机、电潜泵或螺杆泵等,其抽油设备是固定在一口井上,所以也可统称为固定式机械采油,固定式采油的生产是持续性的,设备连续运转不间断生产,所以固定式机械采油的生产特点是生产率高,适用于产液能力较高的油井。工人劳动强度低,采油生产时只需定时巡视即可,不需工人在现场操作。

如果油井的产液能力与该井的抽油设备的排液能力不相适应,则从减少能源浪费和设备磨损,以及降低维护工作量的角度考虑,就应采取间歇抽油措施,由连续生产

变为间歇生产状态。这就使得设备利用率低,吨油设备成本高,经济效果差。但最主要的矛盾是对于低渗透油田,如果原油粘度高,含蜡量高,例如近年来开发的和已探明今后待开发的大庆外围油田均属这种情况(早期开发的陕北延长油矿则不属于此类,该油田尽管单井产量低,但原油粘度也很低),在高粘流体条件下,停止流动的油管内井液温度进一步降低,蜡持续析出,粘度进一步升高,会使得再启动困难,甚至无法启动,造成卡泵事故。

而提捞采油则是解决这些矛盾的有效方式,它的生产设备不是常驻井下,可多井共用一套设备,因而也称作活动采油。因提捞采油在每次捞油完成后,井筒内是空的,不存在再次启动困难的问题,因而对油井来说可以实现间歇生产。由于活动采油可多井共用一套设备,单井产量低,则捞油间隔时间长,每套设备可负责的井数则多,因而折合到单井的设备一次投资低。所以在采用活动式提捞采油方式下,百万吨产能建设中的采油设备投资对单井产能的敏感性不大,并不像其他机械采油方式那样单井产能低则吨油设备投资急剧上升。

由于提捞采油的活动式特点,机动性好,不仅在抽油设备方面降低了特低产井的投产经济压力,而且免除了动力线路架设、集油管道铺设方面的一次投资,可使得边远井、非成片区域的散井经济合理地开发成为可能。提捞采油方式的成功应用,能有效降低油田开发对单井产能的经济界限。

综上所述,提捞采油的特点是机动性好,可多井共用一套采油设备,免去供电线路架设和集输管线铺设,对单

井产能低的油田开发具有较好的经济性。

二、提捞采油的限制条件

提捞采油的生产限制条件有如下几个方面：

(1)井下温度。因井下提捞泵在捞油时要与井筒密封,而软密封件材料有各自的温度适用范围,如普通橡胶的工作环境温度一般是 90°C ,这样在温度不超过 90°C 的井筒深度范围内可正常应用。因地温梯度约为 $3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$,所以在采用橡胶密封件的条件下,下泵深度处的温度不超过 90°C 的中深井均可使用。对于井下温度超过 90°C 的深井,则要使用改性橡胶或其他密封材料。

(2)井液粘度。因提捞泵一般是采用下接加重块的方式以克服井壁摩擦阻力下井,如井液粘度过高,加重块自身表面与井液的粘滞阻力就达到加重块的重力,这样即使加更多加重块也无济于事,现场生产中曾遇到这种情况。这种条件的井如需捞油,则每次要采取热处理措施。

(3)道路条件。进井道路条件要能保证不同气候及天气条件下,提捞车和运油罐车能顺利进出。

(4)井筒条件。井筒内壁要光滑,无破损、变形,不损伤提捞泵的密封件,保证其顺利运行,否则需下油管,在油管内捞油。所下油管在下井前要进行管口检查和通径规检验,无问题才能下井。

(5)产液量条件。按起重钢丝绳的正常上提和下放速度,结合所要求的下泵深度,可以得到提捞泵每个往返所需要的时间,按8h的白天工作时间,即可推算出提捞采油的极限产液能力。一般不超过20t。这是8h在单井

上连续捞油的生产量,这样高的油井供液能力水平,本是固定式机械采油的生产条件范围,但对于零散井、边远井以及新投井中采用固定式采油基础设施一时上不去而抢产的井,则可以安排提捞采油,使它能够及时投产。

第三节 提捞采油的基本工艺流程

提捞采油的主要工艺装备是提捞车,井下工艺设备是提捞泵,地面配套装备是运油罐车和转油站。

当一口油井的液面恢复到相当高度后,将提捞车开到井场,当井口对中后,通过钢丝绳将提捞泵放入井内,当提捞泵下行进入井内液面以下一定深度后,上提,这时泵上井液在提捞泵的推举作用下,随提捞泵上行,到达井口后经集油管线进入罐车。当罐车的油罐内液面升到预定高度附近后,罐车驶到转油站卸油。卸入到转油站储油池内的原油经加热、沉淀、油水分离后,启动输油泵将原油排走。从而完成一次捞油工艺过程。

对于井内液面恢复高度和捞油周期的掌握,要通过对经济效果和产量效果的综合分析来确定。对于油层压力低,液面恢复速度慢,供液能力差的井,控制的液面恢复高度可小些,够提捞泵一个往复的捞油量以上即可上井提捞,以免在高液面状况下时间太长影响油井产量。而对于油层压力较高,液面恢复速度较快的井,允许液面恢复的高度可大些,否则捞油周期太短,捞油生产车辆路上往返运行所占时间比率太大,也影响捞油生产的经济效果。

第四节 提捞采油的供、采协调关系

渗透力学中表征油井产量的基本达西公式如下：

$$q = \frac{2\pi Kh}{\mu} \frac{p_e - p_f}{\ln \frac{R_e}{r_w}} \quad (1-1)$$

式中 q ——油井产量；
 K ——油层渗透率；
 h ——油层厚度；
 μ ——流体粘度；
 p_e ——油层压力；
 p_f ——井底流压；
 R_e ——该井的供油半径；
 r_w ——井径。

从表征油井产量的公式(1-1)可以看出,除生产压差($p_e - p_f$)是动态量以外,其余皆为油井生产条件参数,油井生产条件参数是相对常数。所谓相对常数,就是在短时期内,或在不采取针对性措施的情况下,它是不变的常量。比如表征油层中流体粘度的 μ ,它随含水的升高而降低,但含水上升是个长期缓慢的过程。在不涉及含水的条件下,它随油田开发时间的延长油层脱气量增加而升高,但它的变化也是很缓慢的,只有在对不同年度的取样测试结果统计中才能发现它的变化。再如表征油层渗透率的 K ,只有对油层采取了改造措施如进行了压裂、酸化处理等,它才发生变化。对表征油层厚度的 h ,在不