

钢丝绳抽油杆 抽油技术原理与应用

张嗣伟 王奎升 檀朝东 编著

石油工业出版社

钢丝绳抽油杆 抽油技术原理与应用

张嗣伟 王奎升 檀朝东 编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是作者在总结十几年从事钢丝绳抽油杆抽油技术研究与实践工作的基础上所完成的一本注重实用的专著。主要内容包括钢丝绳抽油杆抽油技术在国内外的发展概况, 钢丝绳抽油杆抽油系统的工作理论, 钢丝绳抽油杆抽油系统的优化设计方法, 钢丝绳抽油杆抽油装置的图表选择法以及钢丝绳抽油杆抽油装置的关键部件与配套装置, 并在绪论中着重探讨了钢丝绳抽油杆抽油技术的发展前景。

本书可作为从事研究与开发和应用钢丝绳抽油杆抽油技术的工程技术人员的参考书, 也可供油田采油工程技术人员及石油院校相关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

钢丝绳抽油杆抽油技术原理与应用/张嗣伟编著.

北京: 石油工业出版社, 2007. 4

ISBN 978-7-5021-5913-9

I. 钢…

II. 张…

III. 钢丝绳-抽油杆

IV. TE933

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 164199 号

钢丝绳抽油杆抽油技术原理与应用

张嗣伟 王奎升 檀朝东 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. com. cn](http://www.petropub.com.cn)

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

2007 年 3 月第 1 版 2007 年 3 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 9

字数: 168 千字 印数: 1—2000 册

定价: 32.00 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

前 言

虽然早在 20 世纪 50 年代末和 60 年代初,国内外都曾有人提出过用连续的钢丝绳取代常规钢抽油杆的设想,并付诸实践,特别是在美国和苏联,先后都开展了 10 来年的矿场试验。尽管在最初阶段他们都肯定了这种新的抽油技术的突出优点,但最终因未能克服某些技术障碍而没有在油田推广应用。

考虑到我国不少油田都有一些低渗透和中小产量的深抽井,采用电潜泵效率低、成本高,而用水力活塞泵抽油的单井操作费用往往也高于普通有杆泵抽油的单井操作费用,因此,很有必要开发出一套新的适合于低渗、中小产量、深抽的有杆泵抽油技术。然而,由于一般抽油井(尤其是深抽井)的工作条件十分恶劣,常规抽油杆往往是有杆泵抽油系统中最薄弱的环节,因而抽油杆的失效就成为制约这种目前广泛采用的采油方法进一步发展的“瓶颈”。为此,在 20 世纪 90 年代初,我们在对国内外各种机械采油技术进行广泛调查和深入分析的基础上,决定开发用连续的钢丝绳取代常规的钢抽油杆这种新的采油方式。

1993 年,我们成立了钢丝绳连续抽油杆抽油系统研究组,在对国内外(重点是美国和苏联)的有关情况进行深入调查和认真分析的基础上,系统地开展了钢丝绳连续抽油杆抽油系统工作理论、杆柱设计方法和抽汲方式的优化等一些关键性的理论与技术问题的研究,并在此基础上与宁夏石嘴山钢铁厂(现宁夏恒力钢丝绳股份有限公司)合作,以该厂生产的密封钢丝绳作为原型,研制成功专用的钢丝绳连续抽油杆。之后,首先与青海油田合作,及时将研究成果付诸实践。从 1997 年以来,先后在国内 9 个油田的百余口抽油井中应用。本书就是这十几年来我们的理论与实验研究以及矿场试验工作实践的总结。

本书是以我们的研究成果为主的一本注重实用的专著,没有涉及基础性的室内试验研究成果。全书除绪论以外共分五章。绪论主要是通过对国内外钢丝绳抽油杆抽油技术近半个世纪的发展历史的回顾与反思,试图消除对我国钢丝绳抽油杆抽油技术发展前景的疑虑。第一章介绍了钢丝绳抽油杆抽油技术在国内外的发展概况,特别是对美国和苏联的情况作了较全面的介绍。第二章阐述了钢丝绳抽油杆抽油技术的理论基础。而其余三章则侧重于介绍指导实践的技术原理与方法及配套机具。本书绪论及第一章由张嗣伟编写,第二和第三章由檀朝东编写,第四及第五章由王奎升编写,张嗣伟负责制定全书的编写大纲和最后的统稿与审定。此外,为了便于读者更详细地了解

进一步研究此项抽油新技术，在本书的附录中汇编了本书作者公开发表的有关论文目录。

1996年，我们和青海石油管理局的合作项目“柔性连续抽油杆及其配套装置和工艺技术的研制与开发”为我们成功地开发这套抽油新技术并在油田实践中产生很大影响起了关键性作用，从而也为本书的问世奠定了基础。为此，谨向参加此项目的其他主要成员，包括青海石油管理局的周铭涛、宋克显、李永、邵文斌、郭玉众等和中国石油大学（北京）的张来斌、罗维东、莫易敏、翁永基等表示衷心感谢。在开发这项新技术的过程中，还得到中国石油大学（北京）著名采油专家王鸿勋教授的关心和支持，对此，作者深表谢意。

在本书编著的过程中，中国石油大学（华东）的万邦烈教授和姜义忠教授提供了俄罗斯的有关资料和译文，杭州舒博特新材料科技有限公司张继锋高工提供了有关配套机具的资料，北京雅丹石油技术开发公司关成尧、李玉顺、檀竹南工程师对本书软件程序编写提供了帮助，特此致谢。同时，也向所有被引用的参考文献和图表的作者以及所有为本书提供过帮助的同志，一并表示感谢。

本书在石油工业出版社领导及编辑的关心、支持和理解下得以问世，特此致谢。

本书是迄今为止在国内出版的第一本关于钢丝绳抽油杆抽油技术的专著，希望它的出版能对钢丝绳抽油杆抽油技术的发展起到推动作用。但限于作者的学识和水平，疏漏和谬误之处在所难免，诚恳地希望广大读者批评指正。

张嗣伟

2006年12月

目 录

绪论	(1)
参考文献	(4)
第一章 钢丝绳抽油杆抽油技术的发展概况	(6)
第一节 钢丝绳抽油杆抽油技术产生的背景	(6)
第二节 钢丝绳抽油杆抽油技术在美国的发展概况	(12)
第三节 钢丝绳抽油杆抽油技术在苏联和俄罗斯的发展概况	(23)
第四节 钢丝绳抽油杆抽油技术在我国的发展概况	(30)
参考文献	(31)
第二章 钢丝绳抽油杆抽油系统的工作理论	(33)
第一节 钢丝绳混合抽油杆柱的振动数学模型及其数值解法	(33)
第二节 钢丝绳抽油杆的振动阻尼	(36)
第三节 钢丝绳抽油杆柱的共振特性和固有频率	(39)
第四节 钢丝绳抽油杆抽油系统动态预测及工况诊断模型的应用	(46)
参考文献	(53)
附录 I 钢丝绳抽油杆在流体中阻尼的理论计算	(53)
附录 II 混合抽油杆柱按单级杆振动的理论解	(58)
附录 III 混合抽油杆柱按二级杆振动的理论解	(65)
第三章 钢丝绳抽油杆抽油系统的优化设计	(72)
第一节 钢丝绳抽油混合杆柱的设计方法	(72)
第二节 钢丝绳抽油杆抽油系统优化设计方法及应用	(78)
参考文献	(87)
第四章 钢丝绳抽油杆抽油装置的图表选择法	(89)
第一节 钢丝绳抽油杆抽油机——泵装置参数的优选方法	(89)
第二节 钢丝绳抽油杆抽油装置机泵图表	(92)
第三节 钢丝绳抽油杆抽油装置电动机功率的计算与选择	(97)
第四节 钢丝绳抽油杆抽油装置所用平衡重的 选择图表和调节计算	(98)
参考文献	(103)
第五章 钢丝绳抽油杆抽油装置的关键部件与配套装置	(104)
第一节 钢丝绳抽油杆	(104)

第二节 钢丝绳抽油杆用液力反馈泵	(116)
第三节 钢丝绳抽油杆作业车	(131)
参考文献	(133)
附录 本书作者公开发表的有关学术论文目录汇编	(134)

绪 论

从 20 世纪 50 年代末到 60 年代初,我国玉门油田和美国伯利恒钢铁公司、杜邦公司开始进行钢丝绳抽油杆抽油技术(也可简称为钢丝绳抽油技术)的试验与开发,至今已有半个世纪。在此期间,虽经几起几伏(我国玉门油田的早期试验仅是昙花一现;美国的试验研究也只持续到 20 世纪 70 年代初;苏联和后来的俄罗斯从 20 世纪 80 年代到 21 世纪初,20 多年的研究也没取得明显突破;我国从 20 世纪 90 年代初,开始了新一轮的研究和试验),但用连续钢丝绳取代常规钢抽油杆的抽油技术已显示出其优越性,即可消除常规钢抽油杆的断脱事故和抽油的活塞效应,并提高泵效,降低能耗等所带来的显著的经济效益和社会效益。然而,为什么在国外没有得到发展,而在我国,至今也还没有推广应用?对这个问题必须作出明确的回答,否则,人们有理由对其发展前途表示怀疑。因此,认真对待并正确回答这一疑问,关系到此项采用我国具有自主知识产权的特种抽油钢丝绳取代常规钢抽油杆的抽油新技术的生存与发展^[1]。

一、钢丝绳抽油杆抽油技术发展历程的启示

20 世纪 80 年代以前,国内外(主要是美国)的钢丝绳抽油技术主要是采用石油工业中常用的钢丝绳取代常规的钢抽油杆,最大下泵深度不超过 1220m。由于钢丝绳的结构伸长和抽油泵柱塞冲程损失的问题没有很好解决,以至此项技术没有得到发展。随后,在 20 世纪 80 年代,苏联选用了其他工业部门使用的具有聚合物防腐涂层的钢丝绳,其弹性模量与相应的钢抽油杆相近,基本上满足了钢丝绳抽油技术的要求。但其最大下泵深度仍停留在 1200m,不能充分显示它相对于常规抽油杆抽油技术的优势,因而对深井泵抽油技术的发展没有产生什么影响。但这段发展历程至少给了我们三点启示:第一,不能把钢丝绳抽油技术只看作是单纯地用钢丝绳取代常规抽油杆的一种简单的抽油技术;第二,要通过深入研究,明确最能发挥钢丝绳抽油技术优势的适应条件(井况和工况);第三,要认清并遵循钢丝绳抽油技术发展的客观规律。

任何一项抽油工艺技术的产生和发展都有它自身的客观规律。三抽设备(抽油机、抽油杆及抽油泵)和各种无杆泵,从产生到成熟,大都经历了十几年来到几十年,甚至上百年的时间。即使一项在国外早已成熟的新技术要成功地移植到国内,往往也要经过多年甚至十来年的试用和消化吸收的过程,如我国在 20 世纪 60 年代初从国外引入的水力活塞泵和电动潜油泵的过程就是

例证。当时，我国曾兴起一股“打倒磕头机（游梁式抽油机）”的热潮，企图以水力活塞泵、电动潜油泵、液压抽油机和振动泵等当时国外成熟的各种无杆泵来完全取代游梁式抽油机，然而，由于没有很好认识并尊重抽油技术发展的客观规律，最终不得不以失败而告终。至今，游梁式抽油机仍在国内外各油田大量应用，虽然它也在不断地改进，以适应技术进步和生产发展的要求，但它仍然保持着原来的基本特征。

恩格斯有一句名言：自由是对必然的认识。这个“必然”就是指事物的规律性。他告诉我们，只有认识了事物的规律性，人们才能在对待这件事物上获得自由。对于我们从事开发钢丝绳抽油杆抽油技术的科技人员来说，只有认清了此项技术发展的规律性，并遵循其发展规律，我们才能促进它的发展，并将它应用自如。所以，从这个意义上来说，目前我国钢丝绳抽油杆抽油技术还刚刚处在发展的初级阶段。

二、钢丝绳抽油杆抽油技术的实质和内涵

抽油杆是将地面抽油设备的能量传递到井下抽油泵的一个重要中间环节，它是三抽设备应用和发展的主要矛盾。它的任何改变，包括实质性的改变（如分段连接的刚性钢杆更换成连续的柔性杆）和根本性的变革（如取消各种类型的抽油杆），不仅会引起三抽设备本身的变化，还会引发抽油工艺技术的变化，包括抽汲方式和作业方式的改变。至于一般地面抽油机的改变（如液压抽油机和链条抽油机等）或井下抽油泵的改变通常只是导致三抽设备本身的改变，而不会引起抽汲方式和作业方式的改变或者不会有大的改变。但采用钢丝绳抽油杆的抽油技术，将会引起三抽设备的实质性变化。因此，钢丝绳抽油杆抽油技术与各种无杆泵抽油技术相类似，也是一种抽油技术上的革新，而不仅仅是一种单纯更换抽油杆（更不是只用普通钢丝绳来代替常规抽油杆）的简单技术，它是一种由主体技术和配套技术有机组成的新的成套技术。其主体技术就是由专用的钢丝绳抽油杆和与之相适应的专用的抽油机和抽油泵组成的新型的三抽设备及其抽油工艺技术，而配套技术则是指可适用于钢丝绳抽油杆和钢杆（加重杆）作业以及修井的地面设备及各种工具。由此可见，它的技术变革涉及面广，难度大，因此，它的发展过程不可能是一帆风顺的。

三、钢丝绳抽油杆的基本特征及其抽油技术的适用范围

常规用的钢抽油杆是三抽设备中最薄弱的环节，由它所引发的事故约占抽油井总事故的三分之二，这不仅直接造成抽油井减产，而且也会增大油井的作业费用。钢丝绳抽油杆的基本特征是它的连续性和柔性，由于连续性，它没有接箍，从而可以完全消除常规钢抽油杆（不包括加重杆）的断脱事故和活塞效应；由于柔性，它可减轻或基本上消除与油管摩擦、磨损而引起事故。而且，它更易于实现长冲程或超长冲程（采用无游梁抽油机），小冲数

的抽汲方式，然而这些优势只有在中深井、深井和超深井以及中小产量的低渗透井才会得到更充分地发挥。

机械采油技术发展和应用的历史告诉我们，企图用一种抽油技术去满足复杂多样性的油藏和井况是不现实的，也是不科学的。钢丝绳抽油杆抽油技术当然也不例外，它一般不适合于稠油井，对于井深小于 1500m 的抽油井也往往难以充分发挥它的优势（但在某些情况下，用于大泵排液也有一定的优势）。因此，只有正确地找到它最佳的适用范围，即找出在生产中最需要它的用武之地，只有在生产需求的推动下，它才能在生产中站住脚，并获得迅速发展，需求是成功之母。

四、钢丝绳抽油杆抽油技术的成套性

钢丝绳抽油杆抽油技术的成套性是指此项技术不是一项单一的技术，而是由钢丝绳抽油杆和与之相适应的地面设备（包括修井作业设备）及井下设备与相应工具以及多种配套软件组成的成套技术（图 1）^[2]。

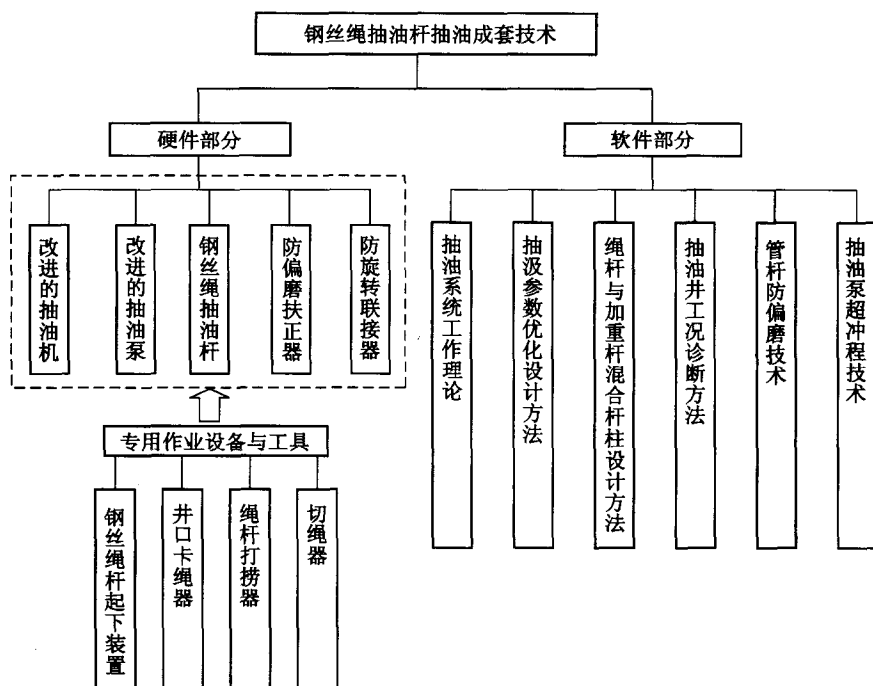


图 1 钢丝绳抽油杆抽油成套技术组成示意图

完善的成套技术不是钢丝绳抽油杆与现有的游梁式抽油机和抽油泵的简单组合，而是针对钢丝绳抽油杆的特点，并把钢丝绳抽油杆和地面抽油设备以及井下抽油泵作为一个有机的整体，深刻认识并遵循它们之间相互联系、

相互制约、相互影响的内在规律，实现优化配置，所开发出的一整套全新的抽油技术，包括开发出可实现长冲程甚至超长冲程的地面抽油设备和可减少甚至取消加重杆并简化修井作业的新型抽油泵，研制出可进行多种作业（包括钢丝绳抽油杆以及光杆和加重杆等刚性杆作业）的通用作业机和相应的工具，并开发出相应的故障诊断技术，以充分发挥此项抽油新技术的整体优势。

五、正确认识新技术、新工艺、新产品发展的一般规律

任何一项新的工艺技术和产品总是要经过一个从不完善到完善的发展过程。特别是在它发展的初期，肯定会在存在不少问题，而重要的是要善于看主流，看本质，要满腔热情地去扶植它，使之逐渐完善成熟，这可能会是一个相当长的曲折的过程。加拿大 Corod 公司 1965 年就开始研究半刚性的金属连续抽油杆，直到 1986 年，也就是经过了 20 多年以后，才推广应用了 2600 口井^[3]。美国带式抽油杆公司（现 Axelson 公司）在 20 世纪 80 年代初开始研制复合材料带，经过 10 多年的室内与现场的试验，发展了几种定型产品，但直到 1995 年 11 月也只在几十口井使用^[4]。而且，即使是成熟的技术，也不可能十全十美，玻璃钢抽油杆在 20 世纪 70 年代就已出现，几乎经历了 20 多年才发展成熟，但它仍然存在一些缺点。因此，要想开发出一项新技术、新工艺或新产品，只有锲而不舍，不断从失败中总结经验教训，才有希望取得成功。

这些年来，钢丝绳抽油杆抽油技术在我国的发展历程虽然并不是一帆风顺的，但是应当指出，从认识论的观点看，这个发展过程实际上是一个实践、认识、再实践、再认识不断循环反复的过程，也是一个实践和认识螺旋上升、不断前进的过程，我们今天的实践和认识已远远超过了当年美国和苏联以及我国玉门油田的实践和认识。近 10 年来，此项技术毕竟已在我国十来个油田相继使用，总共下井约 100 口，积累了不少成功的经验，而且，当今的科技进步已为钢丝绳抽油杆抽油技术的发展提供了许多比当年更好的技术支撑。今后，只要认真总结经验教训，提高认识，尊重科学，坚持按规律办事，不断完善技术配套，优化设备配置，合理选择应用对象；只要此项技术在客观上有生产需求，并在实践中充分显示出它独特的优越性，它就必然会迅速发展。正如恩格斯在谈到科学技术的发展规律时所指出的：“社会一旦有技术上的需求，则这种需求就会比十所大学更能把科学推向前进”^[5]。我们还有什么理由担心此项技术的发展前景呢？

参 考 文 献

- 1 张嗣伟．关于钢丝绳抽油杆抽油技术的发展前景．石油科技论坛，2003（5）：64～67
- 2 檀朝东，张嗣伟．钢丝绳抽油杆的技术应用与发展．石油矿场机械，

2005, 34 (6): 33~35

- 3 吴则中, 郝志礼. “柯罗德”连续抽油杆. 石油矿场机械, 1986, 15 (5): 37~40
- 4 Foley W L, Tarmer H N. Ribbon rod - improvement in sucker rod technology shows need to re - evaluate current artificial lift installations. SPE 35708, 1996
- 5 恩格斯. 恩格斯致符·博尔吉乌斯 (1894 年 1 月 25 日). 见: 中共中央马克思、恩格斯、列宁、斯大林著作编译局编. 马克思恩格斯选集 (第 4 卷). 北京: 人民出版社, 1972. 505~508

第一章 钢丝绳抽油杆抽油技术的发展概况

第一节 钢丝绳抽油杆抽油技术产生的背景

有杆泵抽油法是最早开发出来的一种机械采油技术，而且也是当前国内外应用最广泛的一种人工举升采油技术，据 20 世纪 90 年代的统计，全世界的机械采油井的井数已占油井总数的 90% 以上，其中 80%~85% 都是有杆泵抽油井^[1,2]，而我国机械采油井的井数已占油井总数的 97.1%^[1,3]，其中，用有杆泵抽油技术获得的产液量和产油量已分别占总产量的 60% 和 75%，而其能耗已占油田总能耗的 1/3 左右，随着各油田进入开发后期，上述比例还将进一步增大。有杆泵抽油技术之所以成为国内外广泛应用的一种人工举升采油方法，就在于它具有设备简单、工作可靠、操作、维护方便和适用性强等优点。然而，由于油井的多样性和复杂性，使得抽油杆的工作条件十分繁重。据统计，在我国，由于抽油杆失效引起油井事故的井次约占抽油井事故总井次的 65%~80%^[3]。由此可见，抽油杆已成为有杆泵抽油系统中最薄弱的环节，成为制约这种采油方式进一步发展和扩大应用的“瓶颈”。

一、常规钢抽油杆存在的主要问题

抽油杆的失效主要表现为由单个抽油杆连接的抽油杆柱在工作过程中频繁发生的断、脱事故。抽油杆在抽油过程中长期承受交变载荷、振动载荷和冲击载荷以及与油管相对运动所产生的摩擦力。而且，抽油杆还处于直接与油井中的盐、氯离子、 H_2S 、 CO_2 、 O_2 等多种腐蚀性介质以及沙粒等磨蚀性颗粒相接触的恶劣环境中，从而使它受到繁重的载荷作用以及强烈的腐蚀和磨损。

尽管当前已研制出多种高强度和超高强度的优质抽油杆，并且不断完善其表面处理工艺，使抽油杆的强度、耐磨和防腐性能有了较大的提高，但是由于钢抽油杆的杆长只有 8m 左右，必须通过许多接头和接箍连接数十根以至数百根抽油杆组成抽油杆柱才能完成井下抽油作业，如下泵深度为 1000m，就要采用 125 个接箍。正是抽油杆柱组成的这个特点，使它存在以下一些难以克服的弱点：

(1) 下泵深度越深，抽油杆柱越长，所需的接箍越多，接箍在长期承受交变、冲击和振动载荷以及磨损和腐蚀的工作条件下，往往发生脱扣和断裂，它的失效约占抽油杆柱失效总数的 50% 以上，因而接箍连接成为抽油杆柱最薄弱的环节。

(2) 由于接箍直径比抽油杆的直径大得多(约为抽油杆直径的 2~2.375 倍),即存在许多突变的圆柱面,因此,在抽油过程中,当抽油杆柱在井内油液中运动时,抽油杆柱将产生多级活塞效应,使摩擦阻力显著增大,而且抽油杆柱也容易结蜡。

(3) 由于接箍直径比抽油杆直径大,在抽油过程中,抽油杆柱与油管之间的摩擦主要集中在接箍上,尤其是在斜井和定向井中,更会加剧接箍与油管之间的摩擦和磨损。为了减少这种摩擦和磨损,往往要在抽油杆柱上加装若干扶正器,但这样将使抽油机的载荷增加 20%以上。

(4) 由于常规抽油杆柱是由许多单根的抽油杆用大量接箍连接而成,因而其起下作业(提升和下放)是间断进行,作业效率低,劳动强度大,作业时间长,从而使油井停产时间长。

二、发展柔性连续抽油杆的必要性^[4]

为了解决上述常规抽油杆存在的各种问题,就必须从根本上改变这种传统的用许多接箍将单根抽油杆连接成足够长的抽油杆柱以实现井下采油的工作方式。因此,从 20 世纪 60 年代初,先后出现了以各种柔性连续抽油杆为特征的有杆泵抽油技术。

柔性连续抽油杆(以下简称连续抽油杆)是指在专用生产线上加工成具有特殊形状的截面,中间没有接头,长度在几百米以上的抽油杆,包括椭圆截面的半刚性钢杆和采用特种钢丝绳、钢带或复合材料带制成的柔性杆。连续抽油杆一般具有以下特点:

(1) 没有接箍,从而从根本上消除了抽油杆柱的活塞效应,并大大减小了抽油杆柱的断、脱事故和结蜡现象。

(2) 可连续进行起下作业,大大简化了作业工序,提高了作业速度,节省了作业时间,从而可大大减少油井停产时间,并减轻了起下作业的劳动强度,还有利于实现起下作业的自动化。

(3) 质量轻,而且连续杆柱和油管之间的摩擦、磨损显著减小,从而使抽油机的载荷大大减小,并可延长油管的寿命。

先后进入油田试用或应用的连续抽油杆,除了钢丝绳抽油杆之外,还有半刚性金属杆、复合材料带和钢带等连续抽油杆。

1. 半刚性金属杆

1965 年,加拿大 Corod 制造有限公司开始研制金属连续抽油杆,1968 年研制成功。随后,先后在加拿大、美国、苏联、委内瑞拉等国的 15000 多口井上使用^[3]。目前,我国也有个别油田应用。

这种连续抽油杆的截面为椭圆形,采用这种截面,可使其缠绕在直径为 5.5m 的卷筒上不会产生屈服变形。

Corod 制造有限公司已生产多种规格的连续抽油杆,与常规抽油机和抽

油泵配套使用,但需要采用专用的起下作业设备,包括牵引装置、滚轮导向器、滑轮组和倾斜的运输卷筒等几部分(图 1-1 和图 1-2)^[5]。

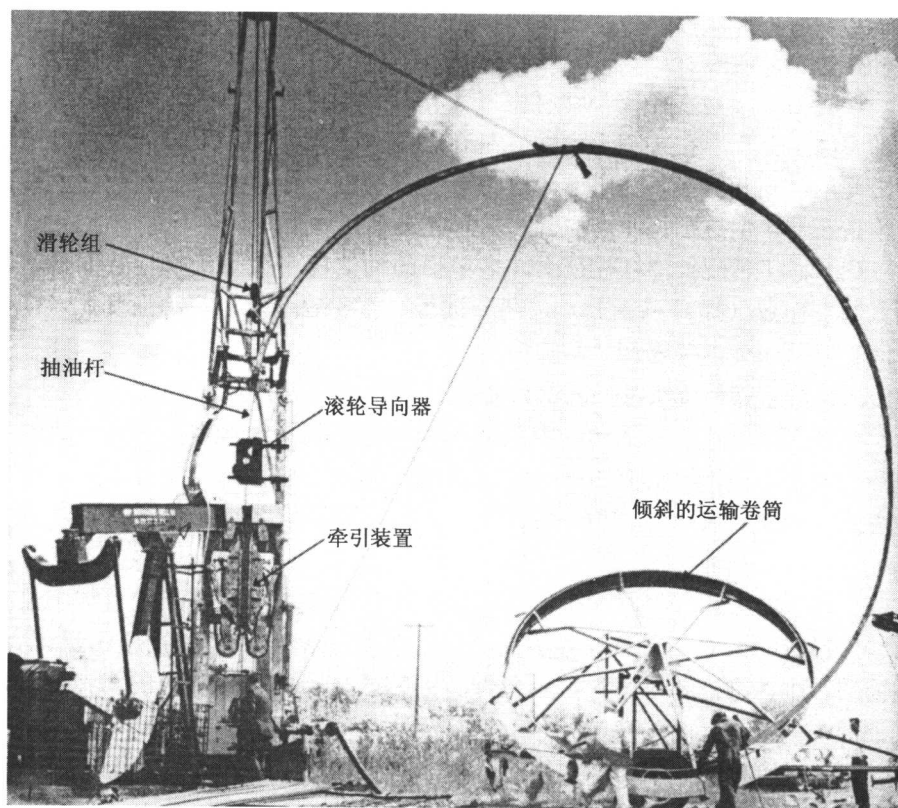


图 1-1 起下作业成套装置

半刚性金属杆具备上述连续抽油杆的特点,但存在以下不足:

(1) 缠绕连续抽油杆的卷筒的直径太大,它倾斜安装在拖车上时,高 4.58m,宽 3.66m,运输不便。

(2) 需要配备专用的起下作业装置以及贮存与运输连续抽油杆的拖车等辅助设备。

2. 复合材料带(带式抽油杆)^[6,7]

20 世纪 80 年代初,美国带式抽油杆公司(现 Axelson 公司)的 Hensley 等人采用聚丙烯腈(PAN)纤维、芳纶纤维和乙烯基酯树脂等材料研制出一种先进的高性能的增强复合材料带。

经过十多年的室内与油田试验,到 20 世纪 90 年代初,已成功地开发出几种定型产品,其规格为宽 36.83mm,厚 2.54~5.38mm,可盘绕在直径为 3.05m、宽 0.15m 的卷筒上,每盘长 853m。这种带式抽油杆与常规抽油机和

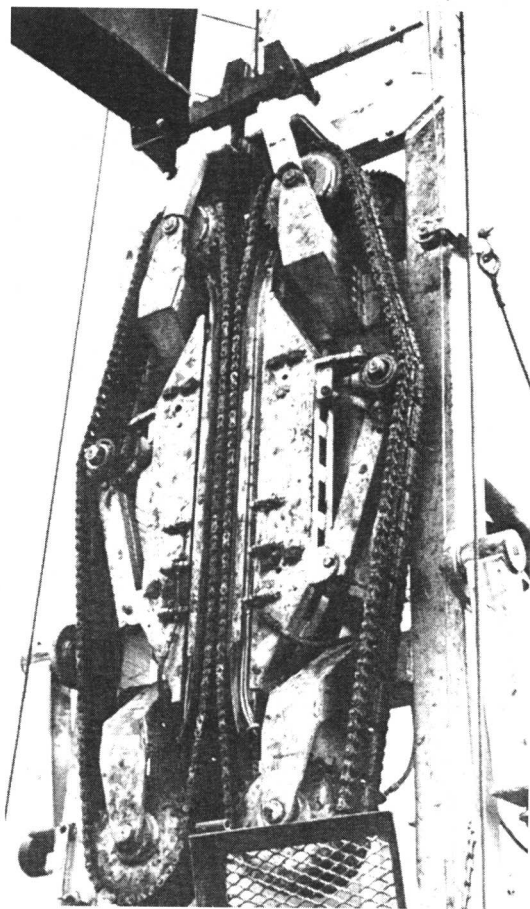


图 1-2 牵引装置

抽油泵配套使用，但也需配备一台装有卷筒的起下作业装置（图 1-3）。

1992—1993 年，美国 Amoco 公司，用 4 台起下作业装置先后将复合材料带下入 8 口油井中试验，其中一台在含有大量 H_2S 的油井中正常工作了 3 年多，随后，又在多口井中试验，井深大都在 914~1524m，采用由 40%~80% 复合材料带组成的抽油杆柱的油井适用条件是产液量 $17.5 \sim 201.6 m^3/d$ ，平均含水率 89%，原油相对密度为 0.86，井底温度低于 $52.8^\circ C$ [8]。

复合材料带除了具有前述一般连续抽油杆的共同特点之外，还具有以下优点：

- (1) 具有极高的弹性模量和很好的抗疲劳性能，耐腐蚀，使用寿命长。
- (2) 自重很小，约相当于常规抽油杆的 $1/10$ ，可大大减小抽油机的悬点载荷，在大多数情况下，可降低两个型号选用配套的抽油机。

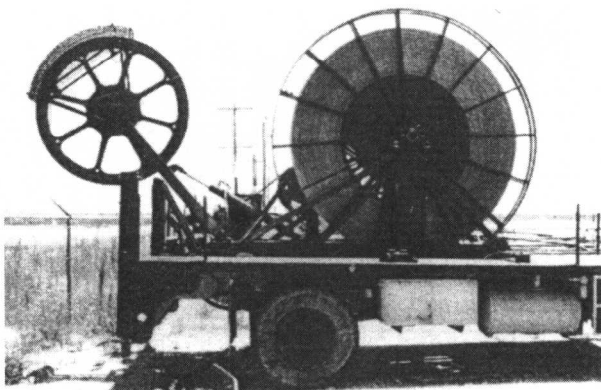


图 1-3 装在拖车上的起下作业装置

(3) 与其他连续抽油杆相比, 它可盘绕在直径更小的卷筒上, 运输方便。

复合材料带的主要缺点是成本较高, 不耐高温 (最大工作温度为 65.6°C), 而且由于其截面为矩形, 与井下流体接触面积大, 将承受更大的摩擦阻力。

3. 钢带^[9]

20 世纪 70 年代, 苏联奥伦堡石油联合公司研制出钢带式超常冲程抽油机, 并于 1978 年进行了矿场试验。1985 年该公司又和全苏石油科学研究院研制了另一种样机 (图 1-4), 进行了矿场试验。1986 年全苏冶金机器制造设计科学研究院也研制出钢带式超长冲程抽油机, 并在布祖卢克石油管理局进行了矿场试验。1994 年, 由瑞典列旦工程公司研制的钢带式超长冲程抽油机在奥伦堡石油联合公司的油田进行了矿场试验。

这种抽油装置的主要特点是:

(1) 采用厚度为 $2\sim 3.5\text{mm}$, 宽度为 45mm 的高强度连续钢带取代常规抽油杆, 按照下泵深度的需要, 整根连续钢带的长度为 $800\sim 1500\text{m}$ 。

(2) 通过地面抽油机的滚筒, 实现钢带的上、下往复运动和起下作业, 滚筒直径为 $1.18\sim 2.5\text{m}$, 瑞典列旦工程公司生产的钢带式超长冲程抽油机的滚筒直径为 2.3m , 可将 1500m 的高强度钢带 (断面 $2.5\text{mm}\times 45\text{mm}$) 缠到滚筒上, 共 167 层。

(3) 井下配备有特殊结构的抽油泵柱塞, 已实现长冲程, 柱塞的冲程长度一般可达 $40\sim 1500\text{m}$ 。

三、钢丝绳抽油杆的优点

我国不少油田存在许多低渗透、中小产量的中深井和深井, 采用电潜泵, 效率低、成本高, 而采用水力活塞泵的单井操作费用往往也比采用有杆泵抽油的单井操作费用高。因此, 研究出一套适合我国低渗透、中小产量、深抽