



崔振华 刘元虎 等编著

机械采油系统工程



● 石油工业出版社

分类号	124219
书号	TE355.5
册数	007

机械采油系统工程

崔振华 刘元虎 等编著



石油0116960

石油工业出版社



内 容 提 要

本书第一、二章全面系统地介绍了机械采油系统工程的基本概念、分析方法及机械采油系统的优化设计;第三章介绍了机械采油系统工程的仿真技术;第四章为机械采油系统决策分析,介绍了决策分析的基本概念,论述了单模型、多模型辅助决策系统和决策支持系统,同时给出了一些决策模型应用软件包。

本书适合从事机械采油的工程技术人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

机械采油系统工程/崔振华等编著.
北京:石油工业出版社,1998.4
ISBN 7-5021-2273-7

- I. 机…
- II. 崔…
- III. 机械采油-系统工程
- IV. TE355.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 10938 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)
北京密云华都印刷厂排版印刷
新华书店北京发行所发行

*

850×1168 毫米 32 开本 9½印张 255 千字 印 1—1000

1998 年 4 月北京第 1 版 1998 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2273-7/TE·1895

定价:20.00 元

前 言

机械采油是目前国内及世界石油工业的主要采油方式。以中国为例，95%以上的油井均采用机械采油方式采油，并且机械采油井的数量还在不断增加。机械采油对保证油田的高产、稳产起着决定性作用。

机械采油系统工程是一门综合应用机械学、数学、管理学、采油工艺学等多学科知识的跨学科科学，它所研究的对象不只是抽油机、抽油泵等单一的采油设备，而是包含油井、抽油设备和地层在内的整个机械采油系统。随着机械采油设备的逐年增加，机械采油井的优化设计、参数优选、设备投资、系统能耗和管理等问题日趋突出，此外，随着钻井工艺、采油工艺技术的不断发展，如侧钻定向井、侧钻水平井的出现，聚合物驱油、三元复合驱油方法的应用等，对机械采油设备、机械采油方式提出了更特殊要求。在这种情况下，需要一种能全面、系统地设计、管理、优化机械采油系统的方法，这种方法打破只考虑某一方面和只注重某一指标的设计、管理方法，而把机械采油井作为一个系统工程去追求系统的整体最优，实现机械采油井系统优化、节能降耗、提高油井开采综合经济效益之目的。这就是机械采油系统工程所期望解决的问题。

编写本书的目的是为从事机械采油科学研究、机械采油生产管理、油田节能降耗技术研究及机械采油教学方面的研究人员、技术人员、教师及学生提供一本反映机械采油系统分析、优化设计、仿真技术和决策思想的科学书籍。本书总结了作者多年来在机械采油系统工程方面的科研成果及实践经验，并融以国内外的最新科技成果。但是，机械采油系统工程是一门新兴的学科，有许多问题尚待研究，今后随着科学技术的发展，还需对书中的内容加

以修改和完善。

本书共分四章，第一章由刘元虎、崔振华编著，第二章由姜民政编著，第三章由董世民、刘元虎编著，第四章由李乃华编著，全书由崔振华主编。

本书缺点、错误之处在所难免，我们热忱欢迎读者批评指正。

编著者

1997

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 机械采油系统的概念	(1)
一、机械采油系统的定义与特征.....	(1)
二、机械采油系统是一门新兴的交叉学科.....	(5)
三、机械采油系统的形成与发展.....	(8)
第二节 机械采油系统与产量预测	(10)
一、机械采油的基本概念	(10)
二、我国常用的机械采油系统	(14)
三、油井产量预测	(20)
第三节 机械采油系统的应用	(28)
一、机械采油系统的应用范围	(28)
二、机械采油系统的应用实例	(28)
参考文献	(42)
第二章 机械采油系统分析	(44)
第一节 概述	(44)
一、机械采油系统组成、分析的基本概念和意义	(44)
二、机械采油系统分析的内容和特点	(47)
三、机械采油系统分析的原则和步骤	(49)
第二节 机械采油系统环境分析	(52)
一、机械采油系统的物理和技术环境	(52)
二、机械采油系统经济和经营管理环境	(54)
三、机械采油系统社会环境	(55)
第三节 机械采油系统目标分析	(56)
一、机械采油系统目标分析的作用和要求	(56)
二、机械采油系统目标集的建立	(59)

三、机械采油系统的多目标分析	(61)
第四节 机械采油系统结构分析	(67)
一、机械采油系统结构及系统结构分析的内容	(67)
二、机械采油系统要素集的分析方法	(68)
三、机械采油系统的相关性分析	(69)
四、机械采油系统阶层性分析	(71)
五、机械采油系统整体性分析	(73)
第五节 机械采油系统模型化和优化	(77)
一、机械采油系统模型化的概念	(77)
二、机械采油系统模型的优化及优化方法简介	(82)
第六节 机械采油系统设计	(93)
一、机械采油系统设计整体最优原则	(93)
二、机械采油系统设计程序	(96)
三、机械采油系统综合与分析	(100)
四、机械采油系统设计评价	(104)
第七节 机械采油系统设计步骤及实例	(112)
一、机械采油系统设计步骤	(112)
二、潜油电泵井系统优化设计	(113)
三、潜油电泵井系统高效运行	(125)
参考文献	(134)
第三章 机械采油系统动态参数的计算机仿真	(135)
第一节 概述	(135)
一、系统、模型与仿真	(136)
二、有杆抽油系统动态参数计算机仿真技术的研究现状	(145)
第二节 连续系统计算机仿真的基本算法	(150)
一、数值积分方法	(151)
二、数值积分方法的计算稳定性	(158)
三、系统仿真中数值积分方法的选择原则	(161)

第三节 有杆抽油系统一维模型的动态参数计算机仿真	(162)
一、力学与数学模型	(163)
二、仿真模型	(180)
参考文献	(181)
第四章 机械采油系统决策分析	(183)
第一节 机械采油系统决策分析概念	(183)
一、概述	(183)
二、机械采油系统工程决策问题	(184)
三、机械采油方式的构成、特点及功能	(185)
四、综合采油系统的构成	(193)
五、机采系统总体决策框架模型	(194)
六、机械采油系统决策分析的类型	(200)
第二节 信息与决策	(221)
一、基本概念	(221)
二、机械采油系统信息及信息系统	(222)
三、信息在决策分析中的价值	(225)
四、风险函数、贝叶斯风险和贝叶斯原则	(236)
第三节 单模型辅助决策系统	(240)
一、数学建模	(241)
二、模型与螺杆泵研制决策	(243)
第四节 多模型辅助决策系统	(253)
一、概述	(253)
二、多模型辅助决策数学基础	(254)
三、动态机械采油系统节点分析方法	(261)
四、应用实例	(267)
第五节 机械采油系统决策模型应用软件包	(269)
一、软件系统介绍	(272)
二、经济效益分析	(275)
三、软件规模	(276)

第六节 决策支持系统.....	(277)
一、DSS 的基本结构	(277)
二、DSS 的主要技术	(279)
三、建立 DSS 的主要步骤	(279)
四、模型辅助决策系统.....	(280)
五、决策支持系统分类.....	(282)
六、决策支持系统开发工具.....	(286)
七、智能辅助决策支持系统开发工具.....	(287)
八、机械采油方式优选的专家系统.....	(287)
参考文献.....	(295)

第一章 概述

第一节 机械采油系统工程的概念

一、机械采油系统工程的定义与特征

1. 定义

(1)“系统”

近半个多世纪以来,在国内外“系统”(system)作为一个研究对象引起了很多学者的注意,众多领域的专家对“系统”进行研究与应用,才形成了这门新兴学科。

马克思的辩证唯物主义认为,物质世界是由许多相互联系、相互制约、相互依赖、相互作用的事物过程所形成的统一整体。这就是系统概念的实质与精髓。

系统是客观存在的,我们对系统的认识也有一个发展过程,随着科学技术的发展,系统也被赋予进一步的含义。按照韦氏大辞典(Webster)对系统的解释是:系统是有组织的或组织化了的总体;是构成结合起来的总体的各种概念、各种原理的综合,是以有规划的相互作用或相互依赖的形式结合起来的对象的集合。

现在,国内外关于系统的定义有几十种,一般可表述为:相互间具有有机联系的组成部分结合起来,成为一个能完成特定功能的总体,这种各组成部分的有机的结合体就称为系统。

(2)系统工程

系统工程是一门正处于发展阶段的新兴学科,由于它与其它很多学科的相互渗透、相互影响,人们对它的认识还不一致,下面列举国内外某些学者对系统工程的定义,供读者认识系统工程参考。

我国著名科学家钱学森 1978 年指出,“系统工程是组织管理系统的规划、研究、设计、制造、试验和使用的科学方法,是一种对

所有系统都具有普遍意义的方法。”

日本学者寺野寿郎 1971 年指出，“系统工程是为了合理开发、设计和运用系统而采用的思想、程序、组织和手法的总称。”

美国质量管理学会系统委员会 1969 年指出，“系统工程是应用科学知识设计和制造系统的一门特殊工程学。”

《中国大百科全书·自动控制与系统工程》一书指出，“系统工程是从整体出发合理开发、设计、实施和运用系统的工程技术。它是系统科学中直接改造世界的工程技术。”

综上所述，系统工程是以研究大规模复杂系统为对象的一门交叉学科。它是把自然科学和社会科学中的某些理论、方法、思想、策略和手段等根据总体协调的需要，有机的联系起来，把人们的生产、科研或经济活动有效地组织起来，应用定量与定性分析相结合的方法和计算机等技术，对系统的构成要素、组织结构、信息交换和反馈控制等功能进行分析、设计、制造和服务，从而达到最优设计、最优控制和最优管理的目的，以便最充分发挥人力、物力和财力的目的，通过各种管理技术，使局部和整体之间的关系协调配合，以实现系统的综合最优。

(3)机械采油系统工程

为了让读者深入了解“机械采油系统工程”的含义，我们以“杆式泵抽油系统”为例，来说明“机械采油系统工程”的定义。

图 1-1 为“杆式泵抽油系统”示意图。由图可见，“杆式泵抽油系统”由三部分组成：一是地面部分——游梁式抽油机，它由电动机、减速箱和连杆机构(包括曲柄、连杆和游梁)组成；二是井下部分——抽油泵(包括吸入阀、泵筒、活塞和排出阀)，它是悬挂在套管中油管的下端；三是联系地面和井下的中间部分——抽油杆柱，它由一种或几种直径的抽油杆和接箍组成。

当电动机通过皮带驱动减速箱工作时，连杆机构(曲柄、连杆、横梁和游梁)把减速箱输出轴的旋转运动变成游梁驴头的往复运动，驴头通过钢丝绳(毛辫子)带动光杆和抽油杆作上下往复直线运动。通过抽油杆再将这个运动传给井下抽油泵中的柱塞。

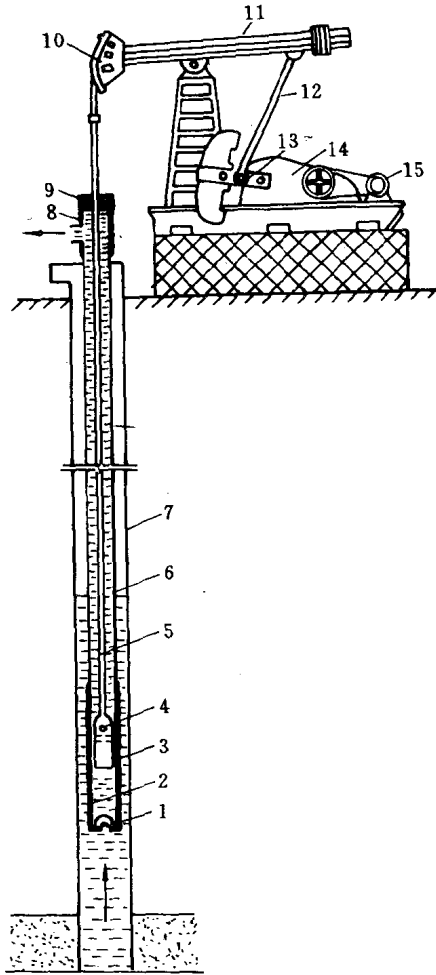


图 1-1 “杆式泵抽油系统”示意图

- 1—吸入阀；2—泵筒；3—活塞；4—排出阀；5—抽油杆；6—油管；
7—套管；8—三通；9—盘根盒；10—驴头；11—游梁；12—连杆；
13—曲柄；14—减速箱；15—动力机(电动机)

当抽油杆带动柱塞向上运动时(上冲程)，泵内吸入阀打开，井中原油进入泵中。同时，由于泵的排出阀关闭，柱塞将它上面油管中的原油举到井口。这就是抽油泵的吸入过程。当抽油杆带动柱

塞向下运动时(下冲程),排出阀关闭而游动阀打开,泵筒中的原油被排到它上面的油管中。这就是抽油泵的排出过程。当“杆式泵抽油系统”周而复始地工作时,原油就源源不断地被采出。

由“杆式泵抽油系统”构成与工作原理不难看出,机械采油设备(如杆式泵系统)工作时,设备之间(包括设备与油井)不是孤立的而是紧密联系在一起,形成一个系统共同工作,这时它们的特性必然相互影响,系统中各部分性能的优劣,以及它们配合是否恰当等都将影响整个系统的工作效果。为了使“杆式泵系统”高效正常运转,取得最佳经济效益,不仅要研究设备(如抽油机、抽油杆等)的设计、制造等项目,还要研究设备选择、参数优选、监测和诊断等软件,显然机械采油技术是一个“系统工程。”

所以,“机械采油系统工程”是以研究油井抽油系统为对象的一门交叉学科,它把自然科学(如机械学、采油工艺等)和管理科学中的某些理论、方法、思想和手段等根据油井生产的总体需要,进行有机联系,综合运用,对抽油系统构成要素、组织机构、油井动态参数和反馈控制等功能进行分析、设计、试验和运行,实现抽油系统整体最优化,达到最优设计、最优运行和优化管理的目标。

2. 特征

类似一般“系统工程”,“机械采油系统工程”有以下4个特征。

(1)整体性(系统性)

整体性是机械采油系统工程最基本的特征。机械采油系统工程把所研究的对象(抽油设备和油井)看成一个整体系统,这个整体系统又是由油井、抽油机、抽油泵等若干部分(要素或子系统)有机结合而成的。因此机械采油系统工程在研究机械采油系统时,必须从整体性出发,从整体与要素间相互依赖、相互联系、相互制约的关系中揭示机械采油系统的规律,从整体最优化去考虑机械采油设备的选择、运行等。

(2)关联性(协调性)

用系统工程学去分析和处理“机械采油”问题时,不仅要考虑设备与油井之间、抽油设备之间、部分与整体之间的相互关系,而

且还要协调它们之间的关系。因为抽油设备之间,抽油设备与油井之间的相互关系和作用,必然影响机械采油系统的整体性能,协调它们关系便可提高机械采油系统的整体性能。

(3)综合性

机械采油系统工程是以油井和抽油设备这个人工系统为研究对象。由于油井的深度、油的性质、油井产量差异过大,抽油设备由多种部件组成,抽油设备又系露天常年工作,所以机械采油系统涉及的因素很多,研究它涉及的学科领域也甚为广泛。因此机械采油系统工程必须综合、研究各种因素,综合运用各门学科和技术领域的成就,以达到整体最优化的目标。

(4)满意性(最优化)

机械采油系统整体性能最优,是机械采油系统工程所追求的最终目的。在选择机械采油设备及其运行时,不仅要考虑油井的产量,还要考虑设备的寿命、价格、能耗指标等,因此需要用一個指标体系来描述,而且这些指标有时是相互矛盾的。为此,要从整体出发,进行综合评判,力求获得全局最优化。

二、机械采油系统工程是一门新兴的交叉学科

机械采油系统工程是一门新兴的交叉学科,这在理论基础和方法论中有充分体现。

1. 机械采油系统工程的理论基础

机械采油系统工程属“系统工程”,所以一般“系统工程”的主要基础理论也是机械采油系统工程的基础理论。另外“机械采油系统工程”属专业性“系统工程”,它还有一些专有的理论基础。其基础包括:

1)数学:它是机械采油系统工程中作定量计算的重要手段。其内容有:运筹学、数值分析方法、模糊数学、概率论、线性分析和数理统计。

2)试验与模拟技术:通过模拟试验和测试,给出数学模型的修正系数与边界条件。其主要内容有:模拟技术、试验技术和测试技术。

3) 计算机科学:对机械采油系统进行定量计算和控制。其内容有:语言、程序和算法理论。

4) 力学:对机械采油系统进行定量分析和建立数学模型。其内容有:固体力学、流体力学、渗流力学等。

5) 机械学:制造、设计与管理机械采油设备。其内容有:现代机械设计方法、机构学、流体机械等。

6) 控制论:通过分析有关信息,对机械采油系统进行控制。主要内容有:电子学与控制论。

7) 采油工艺原理:分析和研究油井原油流入特性,作为选择机械采油设备和优选抽汲参数的基础。

机械采油系统工程是一门综合性的边缘学科,它将应用有关科技领域一切新成果,随着时代的发展,随着科学技术的不断进步,其基础理论将增加新内容。

2. 机械采油系统工程的方法论

机械采油系统工程方法论就是解决机械采油系统工程时所应遵循的步骤、程序和方法。它把研究对象作为整体系统来考虑,是进行分析、设计、制造和使用时的基本思想方法和工作方法。

从 60 年代起,国内外许多学者对系统工程解决和处理问题的方法进行了大量的探索和研究,虽然目前尚未形成一个标准方法,但美国学者霍尔(A. D. Hall)1969 年提出的所谓系统工程的三维结构是一种比较完善的方法。这一方法同样适用于“机械采油系统工程”,现介绍如下。

三维结构是由时间维、逻辑维和知识维组成的立体空间结构,以此将系统工程的活动分为前后紧密连接的 7 个阶段和 7 个步骤,并同时结合考虑各阶段各步骤所需的理论知识,这样就提供了一种立体交叉的综合系统方法(见图 1-2)。

(1) 时间维

表示系统工程从规划到更新的全过程,按时间顺序分为 7 个阶段。

1) 规划阶段:在深入调查研究的基础上,提出系统的总体目标

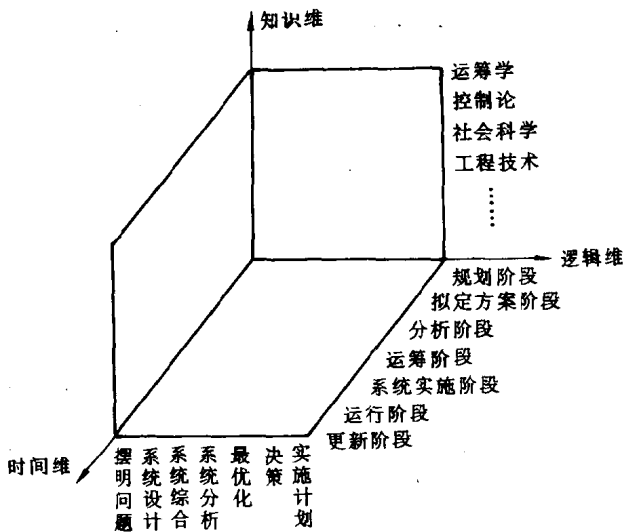


图 1-2 系统工程三维结构图

及规划。

2)拟定方案:根据总体目标及规划,提出具体的计划方案。

3)研制阶段:提出系统计划方案,并制定详细生产计划。

4)生产阶段:生产出系统全部零部件,并提出具体的安装计划。

5)安装阶段:进行系统的安装、调试。

6)运行阶段:系统投入运行。

7)更新阶段:改造旧系统或建新系统代替旧系统。

(2)逻辑维

指在时间维的每一阶段内所要完成的工作,一般分为 7 个步骤。

1)明确问题:深入调查研究,收集有关资料和数据,明确所要解决的问题和要求。

2) 目标选择: 确定解决问题应达到的目标, 组成评价指标体系。

3) 系统综合: 根据目标要求, 设计出若干可供选择的方案。

4) 系统分析: 对提出的方案进行分析比较。

5) 系统优化: 通过一定的数学模型, 把方案与评价目标联系起来, 选择最优方案。

6) 决策: 在分析和优化的基础上做出裁决选定行动方案。

7) 实施计划: 制定详细计划, 实施选定方案。完成后转入系统工程的下一阶段。

(3) 知识维

一般覆尔三维结构知识维是指为完成上述各阶段和各步骤的工作所需要的各种知识和技能, 包括数学、工程技术、管理学和社会科学。由于“机械采油系统工程”的专业性较强, 涉及的范围相对较窄, 其知识维略有不同, 见图 1-2。

以上这些阶段, 在时间的先后和步骤之间的划分上, 并不很严格和绝对, 经常会出现反复。

“机械采油系统工程”的方法论还有统一规划法等, 读者可参考有关“系统工程”文献, 这里不再赘述。

三、机械采油系统工程的形成与发展

1. 一般“系统工程”的形成

系统工程的产生不是偶然的, 它是随人类生产的发展和科学技术的进步逐渐形成与发展起来的。

系统工程产生于 20 世纪 40 年代, 但其发展却源远流长。早在我国战国时期, 由李冰父子组织建造的四川都江堰水利工程, 就极为丰富地蕴含着系统工程思想的萌芽。我国春秋战国时期著名军事家孙武所著《孙子兵法》就是从系统整体出发, 对敌我双方与环境进行系统分析, 提出战略、战术决策, 因而成为克敌至胜的法宝。

20 世纪初, 系统思想和系统方法开始被逐步提出与运用。1940 年, 美国贝尔电话公司正式采用“系统工程”这一名词。

二次大战期间出现了运筹学, 它的发展运用及信息论、控制论