



吉效科 编著

油田设备节能技术

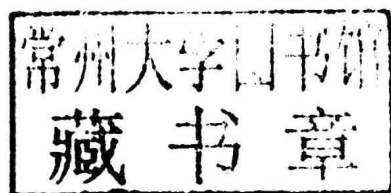
YOUTIAN SHEBEI JIENENG JISHU

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

油田设备节能技术

吉效科 编著



中国石化出版社

内 容 提 要

本书在对油田主要用能设备能耗简介的基础上,对油田主要设备的节能技术进行了阐述,包括抽油机节能技术、集输设备节能技术、注水泵节能技术、锅炉和加热炉节能技术、油田电网节能技术、油田伴生气的回收与利用以及油井清蜡、带压作业技术;同时本书还对部分油田的节能实例进行了介绍。

本书适合于油田企业节能技术管理人员和技术人员阅读,也可供石油院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

油田设备节能技术 / 吉效科编著. —北京: 中国石化出版社, 2011. 2
ISBN 978 - 7 - 5114 - 0665 - 1

I. ①油… II. ①吉… III. ①油田 - 设备 - 节能 - 技术
IV. ①TE08

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 011008 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭, 或者以任何形式或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址: 北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编: 100011 电话: (010) 84271850

读者服务部电话: (010) 84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com.cn

河北天普润印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 20.25 印张 512 千字

2011 年 2 月第 1 版 2011 年 2 月第 1 次印刷

定价: 60.00 元

前 言

油田在油气开发生产过程中需要消耗大量的电力、原油、天然气、汽油、柴油等能源，据统计，2003年全国陆上油田生产及辅助生产消耗各种能源折标准煤3429万吨，约占全国总耗电量的2%，且随着油田开发难度的加大，能耗呈逐步增长的趋势。目前油气田生产耗能大约相当于自产油气的14%，能费用约占生产成本的20%左右。因此，搞好油田节能降耗，一方面可为国家提供更多油气，另一方面也有利于油田企业降本增效、增强竞争力。同时，油田节能还可减少对环境的污染，保护生态环境，具有十分重要的社会意义。

按照生产流程，油田主要能耗环节可分为机械采油系统、注水系统、集输系统、供热系统等四个系统，主要消耗能源包括电力、原油、天然气、汽油和柴油等。其中，电力在消耗的各种能源中所占的比例最大，其消耗量占总能源消耗量的60%左右，主要用在机械采油、注水、原油处理及输送等生产环节；其次为原油消耗，约占总消耗量的20%，主要作为锅炉、加热炉的燃料，用于提供热采井注汽、原油加温处理、输送及井站矿区冬季取暖所需的热能；天然气主要用于给井口和联合站、接转站输送的原油加热、井站冬季采暖及边远井天然气发电；汽油的消耗构成比较单一，主要是机动车辆耗油及极少量的清洗用油；柴油消耗主要包括作业用油、机动车辆和工程机械用油。

油田主要用能设备包括抽油机、注水泵、输油泵、锅炉、加热炉、机动车辆、工程机械等。其中，机械采油系统耗能设备主要有游梁式抽油机，各油井地面系统效率和井下系统效率决定了机械采油系统能源综合利用水平；注水系统主要使用注水泵，注水泵电动机、注水泵以及注水管网的运行效率决定了注水系统能源利用水平；集输系统主要使用输油泵，拖动运行输油泵的电动机、输油泵和输油管网的运行效率决定了集输系统能源利用水平；加热炉系统主要使用燃油加热炉和燃气加热炉，各加热炉、管网及换热设备的运行效率决定了加热炉系统能源利用水平；锅炉系统主要包括供暖锅炉和热采锅炉，各锅炉、管网及换热设备的运行效率决定了锅炉系统能源利用水平。

近些年，随着油田对节能工作的重视，各种新型设备节能技术得到了很好的应用，为降低油田能耗，提高油田各环节系统效率起到了很好的推动作用。为了比较系统地总结油田设备节能新技术，促进这些新技术的推广和应用，指导油田设备管理人员和节能管理人员开展设备节能工作，作者编写了这本《油田设备节能技术》。该书引用大量油田成熟经验和实例，以指导实践应用。

本书在编写过程中得到了长庆油田公司设备管理处和二级单位的领导及设备管理专家的大力支持，设备管理处李宁会副处长在百忙之中给本书的编写提出了很好的建议，并进行了精心审查和指导，另外，该书的编写还得到了油田设备生产厂家专家的技术支持，在此一并表示衷心的感谢！同时，本书在编写过程中还参阅了部分国内外文献，在此对文献的作者表示感谢。

由于作者水平有限，错误和疏漏之处在所难免，敬请专家和读者批评指正，多提宝贵意见！

目 录

第一章 概述	(1)
第二章 设备能耗计算与测试	(11)
第一节 设备节能简介	(11)
第二节 设备能耗计算	(13)
第三节 设备能耗测试分析方法	(18)
第三章 节能计量与仪表	(43)
第一节 节能计量	(43)
第二节 电能计量仪表	(45)
第三节 流量计量仪表	(53)
第四节 温度测量仪表	(69)
第五节 压力测量仪表	(72)
第四章 抽油机节能技术	(76)
第一节 抽油机系统工艺简介	(76)
第二节 抽油机能耗分析与节能途径	(79)
第三节 节能抽油机	(88)
第四节 抽油机节能拖动装置	(99)
第五节 抽油机节能技术选择	(108)
第六节 抽油机的平衡判别与调节	(115)
第五章 集输设备节能技术	(122)
第一节 集输系统工艺简介	(122)
第二节 集输系统设备节能技术	(129)
第三节 稠油集输节能技术	(142)
第四节 设备防垢技术	(143)
第六章 注水泵节能技术	(148)
第一节 注水泵站系统工艺简介	(148)
第二节 注水泵站节能技术	(154)
第三节 同井采注节能技术	(169)
第七章 锅炉和加热炉节能技术	(173)
第一节 锅炉和加热炉简介	(173)
第二节 锅炉和加热炉节能技术	(182)
第三节 油田高效节能燃烧器	(190)
第四节 锅炉和加热炉经济运行与控制	(209)
第五节 锅炉、加热炉选型	(223)
第六节 锅炉和加热炉节能改造实例	(226)

第八章 油田电网节能技术	(234)
第一节 油田电网简介	(234)
第二节 电网无功补偿技术	(235)
第三节 变压器经济运行	(240)
第九章 油田伴生气的回收与利用	(248)
第一节 伴生气集输工艺	(248)
第二节 伴生气的利用技术	(256)
第十章 油井清蜡与带压作业技术	(267)
第一节 油井清蜡与防蜡概述	(267)
第二节 常用的清防蜡工艺	(269)
第三节 不压井作业技术	(278)
第四节 带压洗井技术	(284)
第十一章 油田设备能耗定额	(288)
第一节 能耗定额标准	(288)
第二节 汽车油耗定额	(290)
第三节 油田设备电耗与油耗定额	(295)
第十二章 油田设备节能技术典型经验介绍	(302)
第一节 新疆油田节能技术	(302)
第二节 华北油田节能技术	(307)
第三节 大庆油田节能技术	(312)
参考文献	(318)

第一章 概 述

我国是一个发展中的大国，人口占世界的 22%，而能源却相对匮乏，人均能源资源占有量不到世界平均水平的一半。同时，我国是世界上第三大能源生产国和第二大能源消耗国，目前已是石油净进口国，2009 年原油净进口量为 1.89 亿吨，较 2008 年增长 13.6%。随着我国经济的快速发展，未来几年我国对原油的需求量将急剧增加，仅依靠目前的能源生产和利用状况，远远满足不了市场需求，而大量依靠石油进口更不符合我国国情，它将使我国经济增长面临巨大的风险。

在资源不足的情况下，我国还存在能源利用率低下和无节制的资源浪费现象。我国目前能源效率比国际先进水平低 10 个百分点，能源密集产品单位耗能平均比国际先进水平高 45%，由此引起的环境污染和资源枯竭问题已日趋严重。节能就是在这样的背景下越来越受到我国政府和社会各界重视。据测算，如果将全国能源效率提高 1 个百分点，可节约能源费 130 亿元。

我国大部分油田企业所面对的是渗透率低、区块复杂的油田，因此勘探开发的难度较大，高出国外常规油田平均生产能耗的 2~3 倍。目前国内石油开采技术与国外先进技术还存在着较大的差距，产量的增加还是以投入更多人力、物资为基础。随着油田开采时间的延长，地层能量逐渐降低，一些油田采取注水开发，原油含水不断上升，导致采油、集输、注水耗能增加，油田企业九成以上的耗能集中在集输、注水、机采等生产系统，因此加大油田生产系统节能技术的开发与投入显得非常重要。

当前，主导原油价格的主要因素还是供求问题，当油价高过临界点，必然迫使消费者降低对原油的需求，从而寻找替代能源和开发节能技术。所以，节能降耗的经济价值将更加凸显，实用意义也更加明显。

油田电力系统是由供(配)电系统和用电设备组成的，它是石油和炼化企业生产的动力保障，属于二次能源。在石油和石化企业重组上市的新情况下，如何降低生产中的电能消耗，对于提高企业的经济效益具有重要的意义。

设备节能是油田综合节能的重要部分，机采系统能耗约占油田能耗的 40%~50%，注水系统能耗约占 30% 左右，集输系统能耗约占 20% 左右。因此加强油田设备能耗管理，降低设备能耗，提高设备效率是油田低成本战略的必由之路。油田设备节能可以采取合理的技术、工艺、材料、优化配套等方式实现，也可从管理角度入手，组织优化设备运行，简化设备使用条件，提高设备利用率，淘汰高能耗设备，引进应用节能高效设备等方式。总之油田设备节能潜力是可以挖潜的。

一、油田企业生产用能特点

按照生产流程，油田企业主要能耗环节可分为机械采油系统、注水系统、集输系统、加热炉系统和锅炉系统等五个系统，主要消耗能源包括电力、原油、天然气、汽油和柴油等。其中，电力在消耗的各种能源中所占的比例最大，其消耗量占总能源消耗量的 60% 左右，主要用在机械采油、注水、原油处理及输送等生产环节；其次为原油消耗，约占总消耗量的 20%，主要作为锅炉、加热炉的燃料，用于提供热采井注汽、原油处理、输送及矿区冬季取

暖所需的热能；天然气主要用于给井口和联合站、接转站输送的原油加热及边远井天然气发电；汽油的消耗构成比较单一，主要是机动车辆耗油及极少量的清洗用油；柴油消耗主要包括作业用油和机动车辆用油。

油田企业主要用能设备包括电动机、锅炉、加热炉、机动车辆等。其中，机械采油系统主要使用游梁式抽油机和潜油电泵，各油井电动机运行效率决定了机械采油系统能源综合利用水平；注水系统主要使用注水泵，注水泵电动机、注水泵以及注水管网的运行效率决定了注水系统能源利用水平；集输系统主要使用输油泵，拖动运行输油泵的电动机、输油泵和输油管网的运行效率决定了集输系统能源利用水平；加热炉系统主要使用燃油加热炉和燃气加热炉，各加热炉运行效率决定了加热炉系统能源利用水平；锅炉系统主要包括供暖锅炉和热采锅炉，各锅炉运行效率决定了锅炉系统能源利用水平。

油田企业的各个系统相辅相成、紧密相连，任何一个系统都会影响其他系统，都对整个油田企业的能源利用效率有着重要影响。从主要消耗能源看，应当特别注重对电力和原油的节约利用。从用能设备来看，用能设备的新度系数和负载率是影响油田企业能源利用效率的重要因素，特别是节能型设备越新，越先进，其耗能就越小，设备实际负荷与额定负荷越接近，其负载效率越高，能源利用率就高。此外，设备与设备之间，如电动机与抽油机以及电动机与注水泵的配套程度，也是影响油田企业能源利用效率的重要因素。

二、供(配)电系统节电技术

油田电网常分为供电网和配电网两大部分。供电网由变电站、输电线路和自备电厂组成。其电源多取于地方电力系统，仅在没有地方电力系统供电或虽有电力系统但难以满足油田电力需求的情况下才建设自备电厂。由于油田供电网是地方电力系统的组成部分，因此它的运行方式必将受到地方电力系统的调配。油田配电网则是指直接供应油田电力设备(抽油机、注水泵、输油泵等)的配电变压器和配电线路，它们的运行管理和地方电力系统的运行联系较少。

1. 供电网的节电技术

油田供电网是指6(10)kV以上电压等级的线路，主要任务是实现电力的远距离输送。但是由于输电线路电阻的存在，在输送电力的同时，在传输线上会产生输电损耗，即所谓的网损；同时，在各级变电所内，为实现电力的分配和控制，所内控制设备上也会产生损耗，即所谓的所内损耗。因此，供电系统的节电工作主要就是降低网损和所内损耗，同时不断提高电力调度自动化水平。

目前油田供电网电压等级多为110kV和35kV。根据一般与额定电压等级相适应的输送功率和输送距离分析，油田供电线路的输送容量和输送距离大都远远低于上述数值。因此可以说油田供电网的网架结构是紧凑的，其网损率也是比较小的。

为了实现供电网的节电，我们可以借鉴外国的先进经验，在油气田自管电力系统中，学习推广以下技术：①优化电源结构，最大限度减少一次投资，主要采取挖潜改造满足油田发展的用电需要，新建电厂应选用高效设备；②油田新建110kV以上电网时，可采用绝缘子串并联方式，110kV以下电杆采用深埋，取消拉线。35kV和6(10)kV架空线可采用顶端两线的架设方式；③推广110kV、10kV直供系统，变电所设备实现无油化，无值守(少人看守)；④35kV及6(10)kV由架空线路供电改为电缆供电；⑤完善防雷设计；⑥加快推进电力系统的在线检测和带电拆装检修工作。

2. 配电网的节电技术

油田配电网是指 6(10)kV 及以下电压等级的线路，主要任务是为用电设备分配电能。由于配电网需直接向高压电动机供电，而在 20 世纪 80 年代前，国产高压电动机最高电压等级为 6kV，因此配电网电压都选用了 6kV 电压级，只有最近几年 10kV 高压电动机已正式生产，一些新建的油田与电网才选用了 10kV 电压级。个别油田也试图采用 35kV 作为配电网电压，但是由于短路容量过大和变压器中性点电压位移等问题尚待解决而不宜推广应用。

油田配电网的网损率相对较高，特别是 6kV 井排线路，其原因为：①作为配电网主要用电负荷的电动机负荷普遍存在着“大马拉小车”现象，因而造成配网功率因数过低、网损过大。②配电变压器多处于非经济运行区。③由于油田进入高含水后期开发阶段，用电负荷不断增大，线损也随之增加。特点是配电网首端主干线段的损耗增加更为明显。④一些配网供电半径过长，远远超出合理输送距离，也是造成网损过大的原因。

由于油田电网负荷中普遍存在着电动机和配电变压器的“大马拉小车”现象，而且配网的线路长度过长，这都是造成功率潮流中无功功率比重较大的原因。直接表现则是电网的自然功率因数过低。为了提高功率因数，使其达到国家标准(不低于 0.9)，则必须对电网进行无功补偿。目前采用在配变电所 6(10)kV 母线上装设集中补偿的电容器组，大都能使供电网出口功率因数达到 0.9 以上。但是由于缺乏计算手段，补偿容量多是按主变压器容量的 10% ~ 15% 选择，主要以补偿主变压器无功损耗为依据。但从全网观点来看，这并不是最佳补偿方案。

无功补偿的作用是将原来由电网提供的感性负荷所需的无功功率改由与之处于同一位置或最近位置上的补偿电容器提供，借以减小网上所传输的无功电流，达到降低网损、开发电网潜在容量的目的。

用电负荷无功需求的基本倾向是向上一级供电电网索取无功功率，因此可以在配电网采取三级无功优化补偿技术。

第一级：抽油机井单井的低压无功就地(动态)补偿。

据大量统计数据，国内各油田抽油机驱动电机的自然平均功率因数为 0.4 左右，是油田配电网的最大无功需求者，也是三级无功补偿的最底层和补偿的重点。只有这一级得到了合理的补偿，才能最大限度地减少电网上所传输的无功功率，降低网损。

本着“就地补偿、自给自足”的原则，这一级的补偿属于就地补偿，即在驱动电机的配电箱上并联补偿电容器，最大限度地满足异步电机的无功需求。

考虑到抽油机是周期性变化的负荷，在抽油机单井配电箱原来已有固定低压补偿电容器的基础上，采用低压无功动态补偿技术，可以改变以往机采电机传统的固定电容补偿方式，解决了电机低压补偿容量受励磁电流限制、补偿量严重不足及补偿量不能随负荷变化的问题，使机采电机运行功率因数稳定在 0.9 以上，大幅度地减少配电网所传输的无功电量。

这一级的补偿容量应由驱动电机的参数来决定。同时这一级也包括中转站的低压无功自动补偿。

第二级：配电网高压无功分散补偿。

第一级补偿后，从系统经济技术角度考虑，功率因数一般不补偿到 1，因此抽油机驱动电机所需的无功功率还会有一定缺口；同时配电变压器也需要一部分无功功率进行励磁，因

此可在配电网的合适位置安装高压分散补偿电容，用以补偿单井无功就地补偿的不足，最大限度地减少网上所传送的无功功率。

这一级补偿容量应由无功优化补偿软件计算后确定其最佳投放位置和容量。

第三级：变电所高压无功自动跟踪补偿。

经过前二级无功补偿后，配电网的功率因数可达到一定水平。但配电网各节点（抽油机井）的无功功率还有一定缺口，同时变电所主变本身也需要一定的无功功率。如果这一级不进行补偿，这要通过 35kV 线路从上一级变电所输送无功功率，产生高压网损。

由于油田生产的特殊规律，电力负荷是经常变化的，如注水系统开泵台数的变化，配电网运行方式的改变及抽油机负荷的周期性变化，为使系统功率因数能稳定在一定水平上，这一级采用具有自动跟踪调节功能的无功自动补偿装置。

这一级的补偿容量也需要由无功优化补偿软件计算后确定其最佳补偿容量。

通过采用这些技术，可有效地降低网损，基本上可实现配电网的优化运行。

三、用电设备节电技术

电动机是石油生产的主要动力，其耗电量占原油生产的比重很大。机械采油、注水、油气集输三大系统的电力驱动装置几乎全部为电动机，可以说电动机是油田的主要用电设备，占总耗电量的 80%，是名副其实的电老虎，其中绝大多数采用普通三相异步电动机，因此电动机的节能是油田节电的主要领域。

国内外诸多行业都关注着电动机的制造、使用和发展，向电动机的设计和制造者提出各种各样的需求。为了满足生产的需要，电机行业的技术人员进行了大量的研究工作，设计制造了不同速度、不同转矩、不同功率、不同电压、不同运动形式，以及适用于不同环境的三相异步电动机。三相异步电动机的普遍使用更使科技部门关注它的运行效率。提高电动机及其驱动系统的运行效率和功率因数是节约电能的重要途径。

机械设备与电动机配套不合理，包括型号选用不合理、容量选用不合理、转矩和转速选用不合理等现象比较普遍，而机动设备的用户也由于对设备的选用不合理，运行方式不合理，造成大量的电动机处于低效率运行状态。据介绍占全国用电量 40% 左右的风机、水泵、压缩机的平均效率在 50% 以下，其中大量电动机处于“大马拉小车”的状态，其效率之低下就可想而知了。

提高电动机运行效率是节约电能不容忽视的重要措施。1983 年原国家标准局发布了 GB 3485《评价企业合理用电技术导则》，该标准对电能转化为机械能的合理化提出了原则要求。1985 年国家标准局发布了经修订的 GB 1032《三相异步电动机试验方法》，比较具体的规定了对三相异步电动机各项参数的测定方法。需要说明的是三相异步电动机的现场测试一直是困扰着人们的问题。电动机究竟带动了多大负载，必须在运行中测定电动机的输出转矩和转速，实验室可以做到这一点，但在大大小小、各种各样的工厂中，对众多的运行机械却难以实现。不了解电动机输出的功率，就没办法与输入功率进行比较，没办法进一步分析电动机的实际运行效率。GB 1032 以及 GB 8916《三相异步电动机负载率现场测试方法》，首先介绍了在不卸载的情况下测定电动机输出功率的方法。1990 年国家技术监督局发布了《三相异步电动机经济运行》标准，这个标准从损耗与负载率的关系导出效率与负载率关系，从而可通过用电动机的固有参数与输入功率进行计算，了解电动机的运行状态。1995 年国家技术监督局又发布了 GB 12497—1995《三相异步电动机经济运行》，为评价电动机的运行状态提供了新的依据，目前现行标准为 GB 12497—2006，代替了 GB 12497—1995。

对于不同系统中应用的异步电动机，其所带的负载性质是不同的，因此其节电机理和措施也是不同的。

1. 机采系统用电设备的节电技术

机械采油是石油开采的重要手段。在我国的石油生产中，除少量的自喷油井外，普遍采用机械采油的方法。机械采油分为潜油电机采油和抽油机采油两种，其中绝大多数为抽油机井。据统计，目前国内共有抽油机井近 10 万口，年耗电 $100 \times 10^8 \text{kW} \cdot \text{h}$ 左右，占油田总耗电量的 $1/3$ 。如果能克服其“大马拉小车”问题，节电 15%，年节电可达 $15 \times 10^8 \text{kW} \cdot \text{h}$ 。

抽油机主要由两部分组成：机械部分和电气部分。前者主要由抽油泵、抽油杆、减速箱、四连杆机构和平衡块等组成；后者主要为三相异步电动机与控制柜功率一般为几千瓦至几十千瓦，它带动抽油杆做往复运行，将原油源源不断地从地下抽到地面。抽油机的负载是不断变化的，变化周期也很短，一般游梁式抽油机每分钟有 2.5 ~ 12 个冲次，每一冲次中负载变化两次，而且重载工作时间很短。为平衡电动机的负载和减轻电动机重载抽油时的负担，抽油机上都装有平衡块。当抽油杆下降时，由电动机将平衡块提升起来，即将其势能存储起来；当抽油杆上升时，平衡块下落，释放所存储的势能，“帮助”电动机将原油抽到地面。这样，负载的变化得到了一定程度的缓和。但由于平衡块的位置一般是在新井投产时确定的，随着开采的进行，井下负载情况发生了变化，即负载减轻了，同时平衡也受到了影响。另外，在启动时或瞬时超载时，应充分考虑到“举”平衡块的功率，抽油机配套电动机的功率不得留有较大的功率裕度，以避免抽油机出现“卡死”现象。这样往往导致抽油机的配套电动机功率较高，而其平均负载较低。大量现场测试数据表明：抽油机驱动电机的平均负载率不足 30%。因此，抽油机配套电动机的轻载现象是非常普遍的。导致这一现象的原因主要有两点：第一，多年来抽油机的驱动电机一直采用通用系列异步电机，这种电机额定点的效率和功率因数呈现最大值，而当负载降低时效率和功率因数都随之下降，能耗随之增大；第二，通用系列异步电机启动转矩倍数只有 1.8 倍，最大为 2.0 倍。因此在选用时为考虑启动和特殊作业时（如甩驴头）的需要，不得不提高装机功率，造成“大马拉小车”现象。这一现象使电机的电能利用率变差，对提高抽油机系统效率极为不利。当电动机负载率较低时，电动机的效率和功率因数下降很多，这又相应多消耗很多有功功率和多占有许多无功功率。例如，用一台 11kW 的电动机带动一台 2kW 的负载时，负载率为 20%，电动机的效率仅为 50%，电源实际上要提供 4kW 的功率。但是，假设我们换成 3kW 的电动机，将负载率提高到 80%。这时电动机效率达 91%，那么这时只需要电源供给 2.2kW 的功率就够了，由此可见提高负载率对于节能的意义所在。因此，抽油机专用节能电机应具有效率和功率因数高且曲线平坦、而且负载越轻时效率和功率因数越高、启动力矩大、过载能力强等特性。

目前油田应用的抽油机节能技术主要是针对抽油机的结构及其拖动装置（电机和配电箱）的性能来开展的。抽油机节能技术分为六类：一是对常规抽油机进行节能技术改造，主要是通过对常规游梁式抽油机加装尾平衡、双驴头等手段；二是节能抽油机，主要是通过降低减速箱峰值扭矩，使电机功率下降，有双驴头抽油机、弯梁变矩抽油机等；三是新型抽油机，近年随着新技术在机电控制方面的应用，油田试验应用的有皮带抽油机、井下潜油往复泵、复式永磁电机抽油机、程控调平衡抽油机等新型节能抽油设备；四是加强抽油机平衡管理，通过使用抽油机系统效率测试仪、抽油机平衡测试仪等手段，实现抽油机随动平衡，使抽油机井运转过程中的平衡状态随负载的变化而调整，保持抽油机合适的平衡度，五是在供液不足井上应用抽油机智能间歇节电控制装置或人工间开的方式，六是应用变频调速技术，

优化井泵匹配，为了降低成本，抽油机丛式井组优选一拖多变频控制技术。

2. 油气集输系统用电设备节电技术

油气集输系统的主要用电设备是通用机泵，由于实际运行参数和设计参数之间一般都有较大的差距，从而使系统的运行效率和功率因数降低，因此节能潜力也是很大的。同时，由于油、水泵等的工作流量远低于其额定流量，工作压力与泵的额定工艺压力也不匹配，而目前多采用阀门节流方式，浪费了大量的电能。由于其驱动电机大多为异步电动机，轻载时的运行效率和功率因数都很低，目前装设各种调速装置的数量比重较少，绝大多数急需进行技术改造。因此，在集输系统采用设备工艺配套改造与配套变频调速技术是切实可行的。

20 世纪 70 年代两次世界性能源危机引起了各国对节能技术的极大关注，也推动了电机调速技术的发展。20 年多年来，电机调速技术作为节约电力、提高工效、改善产品质量的一种有效措施，在发达国家和经济增长较快的国家都得到了长足的发展，收到了显著实效。特别是近年来随着电力电子技术和计算机控制技术的迅速发展，交流调速技术已日臻成熟，成为节能的王牌。油田油气集输系统所用的驱动电机的容量一般从几十千瓦到数百千瓦，几乎全部为异步电动机。从节能角度出发，一方面应努力提高电动机本身的运行效率和功率因数；另一方面应根据负荷特点进行节能控制，对于泵类负荷即采用变频调速。

在油田联合站脱水转油系统中，泵尤其是离心泵，是主要的耗电设备，所以节电重点是做好离心泵的节能工作。在大排量低扬程的情况下选用离心泵，在长距离、低排量选用柱塞泵输油；应用变频调速技术，优化输油泵运行参数；采用加剂输送技术，降低输油泵运行压力等方式都可以实现输油泵节能。

3. 注水用电设备节电技术

在油田开发过程中，通过注水保持地层压力，是实现原油高产、稳产的重要手段。特别是油田进入中后期开发阶段以后，为保持地层压力，需不断加大注水量，以实现稳产。据统计，1997 年全油田注水用电量为 $61.70 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ ，全国各油田的综合含水已达 80.4%，注水耗电逐年上升。由于受油田井下地质情况变化以及洗井、供水不足等因素的影响，注水系统的配注量在不同开发时期是不同的，导致日注水量的波动较大。为适应注水量的变化，在没有调速措施的情况下，只能通过调整开泵台数和人工调整阀门（包括调整回流阀门开启度）的方法来控制流量，进而调整注水量，必然造成泵压与管压之间产生较大的压差，增加了注水系统的能耗。

考虑到注水泵的并联运行方式及水泵运行高效率区范围，一般注水泵的调速范围以 85% 额定转速为下限即可满足要求。转速低于 85% 以后，出口压力太低，并联运行的泵间会形成倒灌，同时该注水泵也偏离了高效运行区，一般不建议运行在此范围内。因此，注水泵转速的调节范围不需要太大，以 85% ~ 100% 额定转速范围即可。

从目前技术来看，要连续调节注水泵的流量、压力等运行参数，而且使注水泵保持在高效区运行，实现系统的优化运行，单靠管网的优化和控制阀门的节流方法是不行的，必须使注水泵实现调速运行才能实现。据大庆油田采油五厂“九五”部级科技攻关项目——《杏南油田注水系统变频调速节能试验工程》论证报告中提供的数据，只对注水系统采用优化开泵的方案，年节电费只有 54 万元，如果再采用单台泵变频调速方案则可年节电 235 万元。可见变频调速对于注水系统的优化运行是一项必不可少的技术。随着国产高压变频器技术成熟，价格较进口产品低，使得油田高压变频器改造技术得到推广。

4. 电动机变频调速技术

电动机变频调速已成为当代电机调速的潮流，它以体积小、重量轻、转矩大、精度高、功能强、可靠性高、操作简便、便于通信等功能优于以往的任何调速方式，如变极调速、调压调速、滑差调速、串级调速、整流子电动机调速、液力耦合调速，乃至直流调速。

(1) 变频调速的优点

一是节电，二是优质，三是增产，四是降耗。

节电可在 10% ~ 70% 之间，主要体现在几个方面：

① 软启动，一般交流电动机的启动电流为电机额定电流的 6 ~ 7 倍，变频调速启动电流不超过电动机的额定电流。

② 节省设计冗余，一般设计都按照使用时的极端条件，因而都留有设计冗余，有的余量很大，形成大马拉小车。变频调速可以把这部分冗余节省下来。

③ 调速节电，按流体力学原理，轴功率正比于转速的三次方，转速下降，轴功率变小，这是变频调速的主要节电原理。

④ 功率因数高，一般在 0.95 以上，节省无功，减轻了变压器的负担。

(2) 应用变频调速的注意事项

① 在工艺设计阶段，应当尽量准确计算工况和负荷，选择合适容量的流体机械，保证泵或风机在高效区运行。

② 调速并不意味着变频一种方式，对于长期低负荷运转的泵，可采用直接切削叶轮的办法。

③ 在论证调速方式时，特别注意在泵的总扬程中，若管路压降和阀门压降占的成分越大，调速节电的效果越好，否则效果不好。如图 1-1 所示。

④ 在调速装置的初投资却往往是用户最终选择采用变频控制方案与否的一个最重要的因素，从这个角度讲，尽管大功率泵或风机使用变频技术最节能，却往往被认为最不可能。

变频器的容量，并不一定要选取得和电机容量一样大小，一般的风机在设计时裕量均较大，有可能超过实际需要的 30% 以上，而且最大负荷出现时间均较短。

如果考虑 80% 额定出力以下工况时选用变频装置，则变频装置的容量大致可以确定为电机容量的 55% 左右，一旦超过 80% 额定出力的工况，系统就自动切换到工频运行，依靠挡板、阀门进行节流调节，这样就可以取得最大的性价比。

(3) 高压变频调速

据国家《电动机调速技术产业化途径与对策的研究》报告披露，中国发电总量的 66% 消耗在电动机上。而中国目前电动机装机容量已超过 4×10^8 kW，而高压电机约占一半，高压电机中近 70% 拖动的负载是风机、泵类、压缩机，其中一半适合调速，即有约 7.5×10^7 kW 的高压电机处在浪费运行的状态。

从目前高压变频器的一般使用情况来看，平均节电可达 30%，因而，无论是在新建项

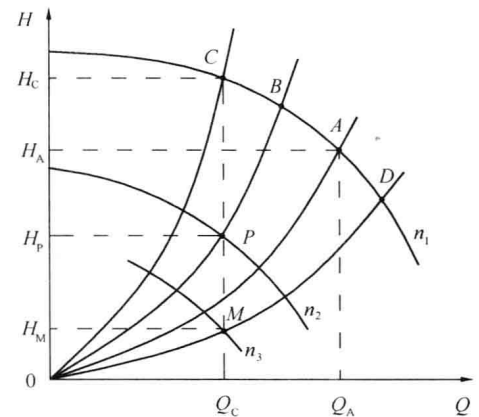


图 1-1 变速运行工况

目中，还是在技改项目中，高压变频系统的投入和使用，其节能效果不言而喻。

对于 200 ~ 2000kW 的电机系统采用 6kV、10kV 电压等级是极不经济、很不合理的。

200 ~ 800kW 以下的变频调速宜选用 380V 或 660V 电压等级。它线路简单，技术成熟，可靠性高，价格便宜。

四、耗油耗气设备节能技术

1. 油田锅炉加热炉节能技术

锅炉加热炉是油田原油生产、生活的重要设备，原油加温降黏输送，原油脱水处理，站库生活采暖等都需要加温供热。随着油田的发展和新工艺新技术的应用，高效节能型锅炉、加热炉在油田得到很好应用，如油田单井点、小型接转油站等站点使用常压热水炉，在大型联合站和生活区等水质条件差的地方应用真空锅炉、热媒炉或真空加热炉，在原油物性差容易结垢的地点采用分体相变加热炉；有伴生气资源的单井点、接转油站、联合站可以选用燃气炉，生活区采用燃煤炉，单井点、小型接转油站等站点常压热水炉在没伴生气时可采用燃煤方式。合理确定锅炉、加热炉的运行模式，优化锅炉、加热炉参数，锅炉、加热炉可以选用全自动燃烧器，蒸汽锅炉回水循环利用等方法都可以实现油田供热系统节能。

2. 油田伴生气的利用技术

伴生气是原油生产过程中产生的附加资源，油田应该充分利用，可以采用井点、区块安装燃气发电机，充分利用伴生气加温采暖和拖动井筒作业设备，联合站伴生气富集的可采用大罐抽气、三相分离器等技术收集，小型接转油站伴生气富集的可采用油气混输泵输送下游站集中回收利用。

五、油田设备与工艺配套的节能技术

1. 机械采油系统节能技术

机械采油系统从地面到井下，努力减少各环节的损耗，已经形成了一整套节能技术，如抽油机系统优化设计、抽油机及辅助配套节能设备优化匹配技术、节能型抽油机、抽油机专用电动机、抽油机节能控制器、螺杆泵采油、调心石墨盘根盒、抽油杆柱扶正器等，并通过优化匹配达到最佳节能效果。

2. 油田注水系统节能技术

“十五”以来各油田在注水系统做了许多工作，如采用注水系统优化仿真技术、高效注水泵、高压变频调速、高效电动机、单井增压注水、周期注水节能技术以及采取优化注水方案、分压注水等技术措施。

3. 稠油热采系统节能技术

近年来应用的主要技术：在提高注汽锅炉效率方面如热管换热器余热回收技术、烟气含氧量自动控制技术、新型红外线辐射涂料炉衬保温技术、高温辐射涂料强化传热技术、自动清灰技术等，在减少注汽管网热损失方面如复合硅酸盐三层复合保温技术、铝箔 + 硅酸盐板 + 橡塑层保温技术等，在稠油污水利用方面采用的稠油污水深度处理回用热采锅炉给水技术等。

4. 油气集输系统节能技术

“十五”以来在油气集输系统主要采用的技术有：高效三相分离技术、提高加热炉效率综合技术(如高效燃烧器、富氧燃烧、高温辐射涂料强化传热、红外线辐射涂料炉衬保温、热管换热器余热回收等)、真空相变加热炉、不加热集油工艺技术、放散天然气回收利用技

术、应用热泵回收含油污水余热技术等。

5. 油田地面工程系统优化、简化方面

抓住高含水开发期油田的油气产量递减、油田地面设备和系统效率降低及不平衡、能耗逐渐攀升等矛盾，对地面工程系统进行优化、整合，通过“关、停、并、转、减”等措施，提高系统运行效率，降低生产能耗。同时，对新建产能油田的地面工程，根据开发预测，参照老油田地面工程建设的经验，在保证中、长期产能的情况下，尽量简化地面工艺。

六、如何做好油田能源综合利用评价

能源综合利用评价是油田企业生产用能决策的一项基础性工作，也是其生产用能决策的重要组成部分。建立一套科学有效的能源综合利用评价指标体系是进行油田企业能源综合利用评价的基础。根据评价的目的和要求，指标体系的建立应满足以下原则：

(1) 系统性原则 评价指标体系应能综合、全面地反映油田企业的能源综合利用效果，保证评价的全面性和可信度。

(2) 简明性原则 评价指标体系要层次分明，简明扼要，在满足评价要求和给出决策所需要信息的前提下，尽量减少指标个数，突出主要指标，各指标要内涵清晰，尽量避免彼此间的相互关联。

(3) 导向性原则 评价指标体系应紧密结合油田企业生产用能特点，体现国家政策导向，引导油田企业实现能源循环、合理利用，提高能源综合利用效率，建立能源节约型企业。

(4) 可比性原则 评价指标体系应尽可能采用定量、相对量指标，便于评价对象之间的比较。

(5) 可操作性原则 评价指标体系所需数据原则上从现有能源消耗统计指标中产生，少量需重新统计的指标应是确定的且易于采集的。

近几年来，国家提出要发展循环经济，按照“减量化、再利用、资源化”原则，采取各种有效措施，以尽可能少的资源消耗和尽可能小的环境代价，取得最大的经济产出和最少的废物排放，实现经济、环境和社会效益相统一，建设资源节约型和环境友好型社会。按照发展循环经济，建立资源节约型与环境友好型企业的目标与导向，油田企业能源综合利用评价指标体系设计应切实体现低消耗、低排放、高效率的基本特征，引导能源高效利用和循环利用。

目前，衡量或评价一个国家或地区能源效率和节能潜力多采用能源经济效率指标和能源技术效率指标，按照其基本思想，油田企业现行能源消耗统计指标均可归为这两类。考虑企业发展循环经济、清洁生产与环境友好等相关要求，增加能源社会效率指标反映企业生产中能源循环利用和再利用水平，凸现企业社会责任。此外，能源综合利用不仅仅是能源的综合利用，对于企业而言，还要考虑成本的“综合利用”，即能源利用是否经济，因此增加一项能源财务效率指标，用于评价节约某种单一能源时的实际经济效率。因此，油田企业能源综合利用评价指标可分为如下四类：

(1) 能源技术效率 也称能源系统效率指标，指使用能源活动中所取得的有效能源与实际输入的能源量之比，国际上用于比较分析的能源技术效率是能源生产、中间环节的效率与终端使用效率的乘积。应用于油田企业能源综合利用评价，主要包括机械采油、注水注聚、集输、锅炉、加热炉等能耗系统效率和重点机组运行效率。

系统效率指标有机械采油系统平均运行效率、注水系统平均运行效率、集输系统平均运

行效率、加热炉平均运行效率、锅炉系统平均运行效率。机械采油系统平均运行效率是油井电动机有效功率与实际输入功率之比；注水系统(集输系统)平均运行效率是注水泵(输油泵)电动机平均运行效率、注水泵(输油泵)平均运行效率和注水管网(集输管网)平均运行效率之积；锅炉系统(加热炉系统)平均运行效率是锅炉(加热炉)产生的有效热量与消耗燃料低位发热量的比值。

重点机组效率指标：离心式注水泵机组平均运行效率、柱塞式注水泵机组平均运行效率、输油泵机组平均运行效率。这三种平均运行效率均指拖动运行泵的电动机平均运行效率与泵运行效率之积。

(2) 能源经济效率 也称能源强度，指产出单位经济量(实物量或服务量)所消耗的能源量，能源强度越低，能源经济效率越高，能源经济效率指标通常用宏观经济领域的单位GDP能耗和微观经济领域的单位产品能耗来表示。考虑到企业层面，可选取万元产值能耗和单位产量、单位服务量能耗等指标，而产值与产量具有线性关系，因此仅选用单位产量和单位服务量指标反映油田企业能源投入产出的经济效率。

单位产量指标有产液量综合用能单耗，产油量综合用能单耗，产液量生产用电单耗，产油量生产用电单耗。产液量(产油量)综合用能单耗是企业生产综合耗能量与产液量(产油量)之比，产液量(产油量)生产用电单耗是企业生产耗电量与产液量(产油量)之比。其中，产气量按 1000m^3 天然气折1t油或1t液进行折算。

单位服务量指标：注水用电单耗，集输用天然气单耗。注水用电单耗是注水耗电量与注水量之比；集输用天然气单耗是集输用天然气量与输油量之比。

(3) 能源社会效率指标 指企业生产过程中能源循环利用的回收率，伴生产品或产出的对生态、环境有害的废物被循环再利用占生成总量的比率和处理率等。反映在油田企业中主要包括原油稳定率、集输密闭率、油气损耗率和天然气利用率等。原油稳定率是稳定后的原油量与应处理原油总量之比；集输密闭率是密闭油量与处理总油量之比；油气损耗率是原油损耗量与处理总油量之比；天然气利用率是伴生天然气利用量与伴生天然气总量之比。

(4) 能源财务效率指标 指在企业生产过程中反映能耗成本水平和经济性的有关指标。如在油田企业生产过程中，在完成相同生产任务、满足环保指标的前提下，煤与原油之间存在一定的替代关系，为充分反映替代能源之间的成本水平与经济性，选用能源综合单价表示。

能源技术效率类指标包括五大系统效率指标和重点机组运行效率指标，能源经济效率类指标包括单位产量指标和重点单位服务量指标。

从上可以看出，油田设备节能技术的发展是迅速的，节能潜力非常巨大。我们要依据现状，选择适合油田设备需要的节能技术，加强设备节能管理，做好油田能耗综合利用评价工作，为企业和国家创造更大的经济效益。本书就是围绕设备节能技术和节能管理展开讨论的，对节能测试与计算、节能技术、节能设备选型、能耗定额管理等方面进行较为全面的介绍。

第二章 设备能耗计算与测试

第一节 设备节能简介

一、节能的定义与分类

1. 节能的定义

节能,是指加强用能管理,采取技术上可行、经济上合理以及环境和社会可以承受的措施,减少从能源生产到消费各个环节中的损失和浪费,更加有效、合理地利用能源。

2. 节能的分类

(1) 节能按照减少能源消耗量的方式可分为直接节能和间接节能。

直接节能是通过推动技术进步和加强能源科学管理,在满足生产生活同等需要的条件下,直接减少的能源消耗量。其中技术进步是节能的主要动力,它主要是在技术经济全面平衡的基础上,采用先进合理的节能技术、工艺、设备、材料,在满足生产需要的前提下,降低单位产品的能耗。

间接节能是相对直接节能而言的,具体反映在除直接节能原因外的单位产值能耗的降低上。其范围广,主要包括调整经济结构(如产业结构、企业结构、产品结构、能源消费结构等),合理组织生产,节约原材料及其他消耗品,提高资源综合利用效益等内容。此外,合理组织运力、进口低耗能产品等也属于间接节能。

(2) 节能按照减少能源消耗量的途径可分为工艺节能和控制节能。

如果采用合理的工艺条件和合适的操作规程,能使生产设备的能源消耗减至最少,我们就说实现了工艺节能。通常人们所说的节能,主要是指工艺节能,其包括了设备节能。

控制节能是指对于工艺条件已经确定的设备或装置,采用自动化仪表或先进控制技术构成控制系统,以代替人工操作,从而达到减少能源消耗的目的。

一台设备或装置的工艺改造,或生产过程中更新设备和装置,可以产生较大的节能效果,所以工艺节能是主要的。而控制节能是在一定工艺条件下的仪表控制代替人工操作,节能效果是有限的。尽管如此,由于我国工业自动化程度和水平不高,控制节能的潜力还是相当大,尤其近年来燃烧优化技术、变频控制技术的发展为控制节能提供了极其有效的新途径。

在工艺节能已经达到目的,或者说,工艺条件已基本确定,从工艺上很难或无法再节能时,若再用自动化仪表或控制方法,构成控制系统来进一步节省能源,该控制称为节能控制。节能控制以节能为主要控制目标,主要考虑实现自动化的经济目的,特别是提高燃料的燃烧热效率,优化机泵参数,节约能耗,从而降低产品成本等。目前国内的综合自动化的应用水平较低,节能控制一般主要在单台设备或局部实施,在局部节能取得良好效果的基础上进而实现全局能源优化。

3. 节能控制的选配原则

(1) 对一般的耗能设备,可采用简单的控制和配备相应的仪表。

(2) 对能耗较大的设备,应采用较先进的控制和配备相应的仪表,还必须配备能源计