

# 《油井生产实时分析优化专家系统 PES》

## 功能简介

### 1 研究背景

我国大多数油田地面系统运行时间已经很长，每年因地面管线窜孔、管线维护等就耗资巨大，油田普遍面临着新一轮的地面管线设施的更新改造，如何减少地面建设投资成为经济效益的关键。而且，大部分油井分布在偏远地区，导致各油井的技术问题不能得到最及时、准确、全面、高效的解决。而个别油田随着生产规模扩大，岗位缺员日益严重，问题油井缺乏专项技术人才、解决方案及实施手段。国家近年的节能指标日益加强，而油田随着产量的递减吨油的电耗却日益攀升，节能压力巨大。

围绕油井高效生产这一中心任务而进行的各项技术创新、技术作用和专家作用之间，存在着系统性的不足，导致了各项技术效果形成信息孤岛不能实现最优化。对现有技术进行系统性的整合，建立一个由专家经验参与的油井生产实时采集、分析、诊断、优化、智能控制的采油工程系统平台，是采油工程领域急需解决的生产技术问题，也是各基层采油厂地面工艺简化优化的关键技术。

上世纪 80 年代初，石油大学的张琪等人在中国开启了计算机技术辅助诊断油井工况的先例。此后的二十多年里，计算机技术、自动化技术在我国采油工程领域的各个方面逐渐应用起来。与此同时，我国开始了机械采油系统效率的研究，至 90 年代中期建立了行业系统效率测试标准，各大油田与研究机构相继开展了一系列的提高机采系统效率的研究工作，形成了一套系统效率的分析方法及提高系统效率的技术措施和管理方法。进入二十一世纪，随着电脑和互联网的普及，油田自动化建设的步伐进一步加快，各种服务于采油生产的分析与设计软件的应用越来越广。

经过广泛的调研，项目组形成了以下几方面的认识：

（1）各种用于油井工况诊断及优化设计软件与用户技术需求存在着一定的差距，主要表现为对实际生产中不确定性因素考虑不够，如油井产能的预测依赖于精确、及时的流压及静压测试结果。

（2）油田自动化技术突飞猛进，远程数据采集与传输技术日臻成熟，但是远程采集回来的数据却没有得到充分应用，缺乏石油工程领域的分析以及与油井生产决策、控制工作的结合。

(3) 经过二十年左右的研究与应用, 机采系统效率的重要性已在行业中得到普遍认可, 但从操作可行性来看, 传统系统效率测试分析需要同步测试电参数、油井功图、液面以及量液测压, 测试费用高并且影响油井正常生产。

(4) 油田开发领域的技术集成程度、应用水平很高, 但是由于井下因素的多样性及目前技术局限所导致的不确定性决定着这个领域里专家经验的重要性不容忽视。

综上, 围绕油井高效生产这一中心任务而进行的各项技术创新之间以及技术作用和专家作用之间, 存在着系统性的不足, 导致了各项技术效果不能实现最优化。对现有技术进行系统性的整合, 建立一个由专家经验参与的油井生产实时分析优化的采油工程系统平台, 是采油工程领域急需解决的问题。

## 2 系统简介

《油井生产实时分析优化专家系统 PES》是中国石油大学(北京)与北京雅丹石油技术开发有限公司历时十年, 联合开发的一套基于自动化技术、计算机技术、网络技术、系统工程方法以及油气田开发技术, 以提高油井产量、系统效率、油田数字化水平和简化地面流程为目的, 集油井生产数据实时采集、数据管理、生产动态预测、实时工程分析、故障诊断、远程计量、系统效率及损耗分析、生产参数实时优化设计、措施方案发布、智能控制等硬软一体化的工程数据平台及采油工程专家系统。

油井生产实时分析优化专家系统的独创内容包括: 利用功图、压力、温度、电流、功率等数据, 实现油井生产工况实时诊断; 远程实时产液量计量、用电消耗计量及能耗分析; 应用扭矩法、电能法、功率曲线法等计算和调节抽油机平衡; 钢丝绳、玻璃钢、碳纤维等特种抽油杆的抽油机井优化设计; 基于诊断、优化设计结果的专家解决方案发布。系统依据以上复杂的油井工况诊断和工艺参数设计结果, 远程实时实现对油井的“大闭环”智能控制。

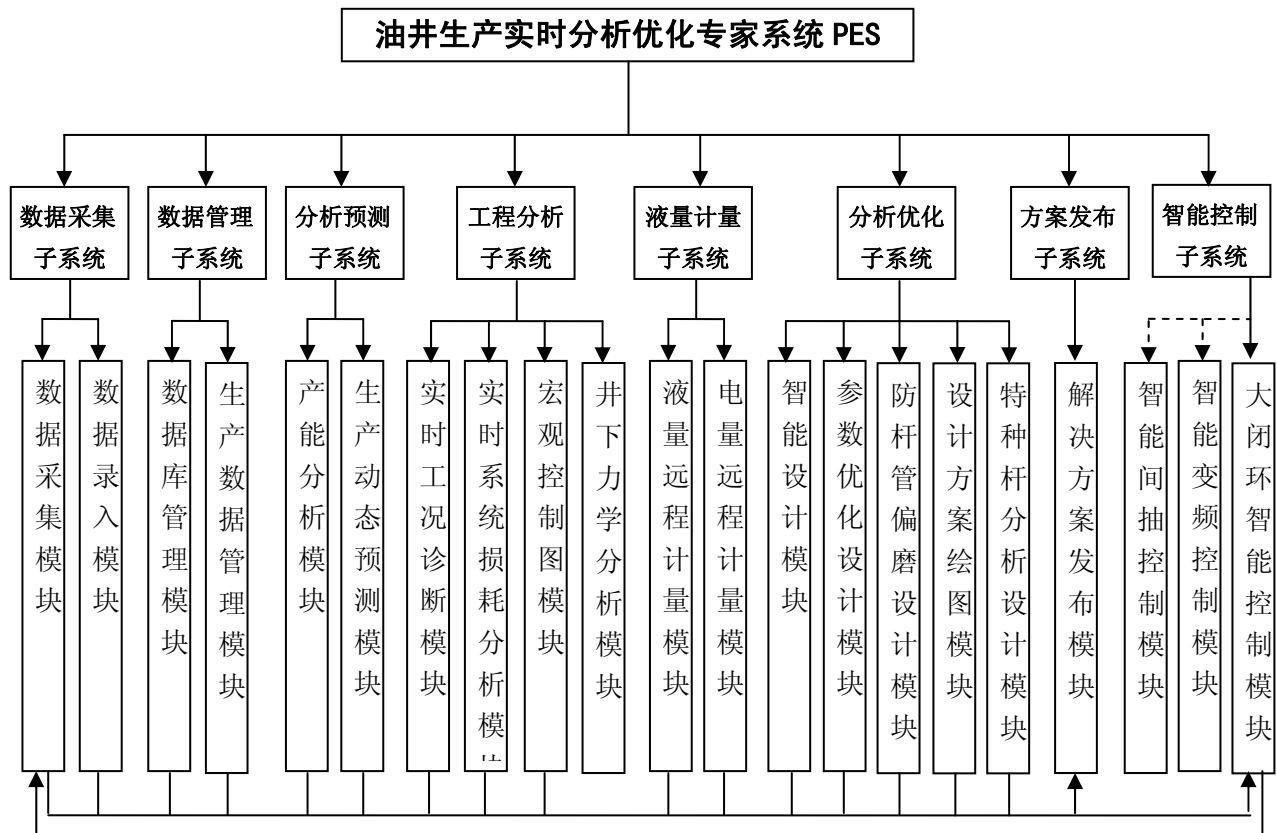
该专家系统强调诊断基础上的优化设计, 即以油井故障诊断结果和能耗构成分析结果为依据的“油井优化设计及节能方案计算技术”, 实现增产或节能的目的。并形成基于以上诊断、分析设计结果的专家解决方案的网络发布及设计书审批流程技术。

该专家系统用独创的远程实时计量方法有效地解决了抽油机井、电潜泵井、螺杆泵井及自喷井型的井口计量问题和地面流程简化优化问题。可以保证 95%以上的井误差控制在 10%以内, 而且能够正确表现单井的动态变化。

该系统实现了油井的实时采集、实时计算、实时诊断、实时优化、实时发布、实时

控制，有力地推动了油田的自动化、信息化、数字化的发展。

《油井生产实时分析优化专家系统 PES》包括以下功能模块：



### 1)、数据采集子系统

包括数据采集和数据录入两个模块，为系统提供实时数据。

(1) 数据采集模块：应用自动系统现场仪器仪表采集功图、压力、温度、电流、电压等动态数据。

(2) 数据录入模块：针对油井的静态基础数据录入，例如泵径、杆柱组合、油藏参数、设备参数、油井管理等信息进行人工录入或从油田开发数据库导入。

### 2)、数据管理子系统

实现整个系统的模块配置、安全控制、界面配置等功能，是整个软件框架的管理和实现中心。

(1) 数据库管理模块：建立开放式数据库系统，实现对油井静态数据、实时动态数据、采油设备数据、工况数据、油井生产日报数据等统一管理。

(2) 生产数据管理模块：开发数据查询、开发动态图件与曲线生成、图件查询。

### 3)、分析预测子系统

据油井具体参数，进行产能分析、生产动态分析及动态预测。

(1) 油井产能分析模块：根据油井具体参数，应用油水复合法、采液指数法、Petrobras 等方法，对油井产能进行预测。

(2) 油井生产动态分析预测模块：油井生产动态指标分析与预测。

#### 4)、工程分析子系统

井筒温度压力场模拟，井下油管柱受力分析与安全校核，实时分析油井工况与系统效率。

(1) 井下力学分析模块：主要能应用于超深井、水平井的自喷、电潜泵采油、酸化、压裂作业井下单级、组合油管柱的受力分析、设计、校核。可完成多种工况下（起、下管柱、正常生产、封隔器座封、酸化、压裂作业等）的管柱受力分析、强度校核、稳定性分析、管柱变形计算等。

(2) 井筒温度压力场计算模块：油井压力场计算；油井温度场计算；稠油井注蒸汽、电加热、回采等工艺的井筒温度场计算。

(3) 实时工况诊断模块：根据实时采集的功图、电流、扭矩、压力等数据，实现油井的实时分析与诊断。

(4) 系统效率分析模块：各种井型的系统效率与损耗分析；单井泵效、系统效率、损耗分析分解计算；区块系统效率与损耗分析。

(5) 宏观控制图模块：可用于稀油区块油井宏观控制图绘制、稠油热采区块宏观控制图绘制（蒸汽吞吐生产阶段宏观控制图、蒸汽吞吐轮次宏观控制图）。

#### 5)、远程计量子系统

根据油井动/静态参数，使用先进的数学模型计算油井液量并诊断油井工况。

(1) 液量远程计量模块：以实测示功图、压力、温度、转速、电参数等采集参数作为分析有杆/无杆泵工作状况的主要依据，建立先进的、适用的油井系统数学模型及算法；诊断油井工况和存在的问题；计算各种复杂工况下的油井的产液量以及有效的数据分析与统计。

(2) 电量远程计量模块：全自动化无线抄表；准确及时的统计和掌握客户的用电信息；对用电设备、电能表的运行状态和客户的用电情况进行实时监控、分析管理。

#### 6)、优化设计子系统

不同采油方式下的参数优化与方案设计。稠油热采注蒸汽与电解热计算，分析管杆柱偏磨/油井间抽问题。

(1) 智能设计模块：通过对油井历史数据的挖掘、当前数据的分析，应用软件强

大的数值仿真功能，智能化地实现当前工况诊断、油井生产预测、区块状况预测等功能，为油井设计、油井生产、作业维护等提供合理方案。

(2) 参数优化设计模块：对各种井型油井进行相应参数优化设计。

(3) 防管杆磨损设计模块：抽油杆侧向力分布计算、防偏磨参数设计、抽油杆、油管偏磨损量计算等。

(4) 间抽制度优化模块：通过泵抽时间、沉没度、泵抽产量等数据，绘制沉没度与时间关系图，确定合理间抽制度，提高间抽井效率。

(5) 设计方案绘图模块：直井、斜井、水平井、复杂结构井三维井身和工具设备图片库；施工管柱图的绘制设计；工序动画制作设计；三维图与二维图对应模块。

## 7)、方案发布子系统

通过 workflow 管理，对设计方案进行审批，实现方案的流转和共享。

## 8)、控制执行子系统

通过下达采集、调控等指令，自动完成生产参数采集，实现智能调控电机启停、阀门开度、电机频率等。

截至 2009 年 12 月底，《油井生产实时分析优化专家系统 PES》在大港、新疆、华北、南阳、大庆等油田应用了 5235 口井，节约投资 51880 万元，减少了运行费用 7000 万元，减少用工增量 800 人，油井的系统效率提高了 3.75%，取得了良好的经济效益和社会效益。

# 3 系统特点

## 1)、国内外同类技术存在的问题

国内油田进行了油井监测监控方面的试验，有的油田已经大面积推广，在油井自动化方面取得了较好的效果。但是油井自动化和生产分析严重脱节，忽略了采集后数据的综合利用；忽略了油田自动化和生产分析设计工作有机的结合；没有利用自动采集了的实时数据来建立以提高油井产量和系统效率为目标的工况诊断、优化设计、功图法量油计算分析系统。

油井监测的主要成果是远程数据的采集、传输、存储以及对地面设备的简单监测，可以概括为“生产安全方面的监测”，如联合站内的各项纯自动化方面的检测技术等大大提高了站内设施运行的安全性，当前油田的监测主要是针对站内的安全控制和抽油机、管汇系统的检测，如管线漏油、抽油机是否缺相运行等安全领域。

总体来说，传统的自动化技术解决的是生产安全性的问题，技术路线是解决生产安全的路线，而不是解决专业的油井分析问题，更不是解决生产参数的优化问题，因此，油井数据分析和生产参数的优化问题一直没有和自动化采集的数据完美的结合。

北京奥伯特公司 Peoffice 系统是国内较全面的石油工程分析与设计系统，斯伦贝谢 Pipesim 软件在国内外油田也有较多的应用，但存在以下不足：

- ①两软件诊断方法只针对示功图，没有综合应用功图、电参、压力、温度等多元数据的实时油井故障综合诊断分析，没有抽油机井以外井型的多元数据的诊断方法，没有以诊断为基础的优化设计，没有以能耗分析为基础的节能设计模型。
- ②两软件没能与远程实时采集的数据结合，更没有配套的硬件采集体系作为配套，其主要是针对油田一般性的优化设计工作。
- ③两软件没有四种井型的液量计量方法。
- ④国内其它任何石油工程方面的专家系统都不具备远程控制决策功能，没有智能控制功能，不能实现油井远程实时“大闭环”智能控制。

## 2) PES系统的特点

- ①该专家系统是国内第一个石油工程技术深度挖掘，并且与自动化采集、传输、控制、存储、管理等技术结合的专家系统。实现了远程实时数据采集、实时油井综合分析、实时油井优化决策、实时油井智能控制，“评价-优化-决策-控制”依次渐进，针对油井实时出现的问题，及时优化油井生产。
- ②该系统不是一套硬件与计算软件的简单集合，而是以提高油井产量和系统效率为目标的油井优化生产解决方案。该系统将油井自动化和生产分析设计工作有机地结合。系统自动化程度高，实时采集，实时计算、实时发布，可在油田信息网上全面了解工区的生产状况，实现油水井、站的远程实时监控，提高油田生产时率，简化地面流程，节能降耗。
- ③应用多元数据，多方法配合应用，实现各种井型和复杂工况的诊断功能；如抽油机井自动诊断常见的 20 多种故障，电泵井和螺杆泵井的诊断具有很好的独创性。对泵功图的识别采用几何特征、矢量特征、神经网络、多元数据相结合的方法，能客观地诊断泵况和油井故障。
- ④液量计量以诊断为依据，故障工况下的油井液量计量准确度有保障；液量计量覆盖所有井型，方法先进；计算各复杂井况下的自喷井、抽油机井、电泵井、螺杆泵井的产液量，抽油机井的计量在方法和准确度上均领先国际相关技术，而电泵井和螺杆泵井的计

量技术属于国内外首创。

⑤各种井型的实时系统效率及能耗分解计算、平衡率计算及调平衡方案为油井的节能降耗的方案提供更加翔实细致的数据支撑，节能的效果更佳明显，确定性提高。

⑥智能间抽、智能变频，不同目标的智能控制功能丰富完善，使之能控制以前述分析诊断为基础，以完善的石油工程需要为依据，避免了传统仅考虑机电系统参数决策控制的模糊性和不确定性，控制结果符合油井管理的实际需要，确定性增强，而且有自学习系统配套，能够随着运行时间的推移螺旋式上升。

⑦灵活的报警功能选择；除正常诊断结论报警外，停电、停机、回压异常、缺相及电流异常、抽油机抽空、防盗红外监控，曲柄销松动脱落都可报警。数据分析功能实用，功能丰富；压力、载荷、泵效、系统效率、宏观控制图、参数运行动态功能丰富。

⑧各种复杂机型、井型，钢丝绳、玻璃钢、碳纤维等特种抽油杆的抽油机井优化设计与诊断技术得到全面的发展与提升。

⑨实现了施工设计书的自动生成和设施方案的网络审批。软件具有很好的兼容性，可与油田公司上游开发数据库平台对接，实现数据库和 WEB 网络发布共享，计算的液量可以直接进入上游报表系统。

《油井生产实时分析优化专家系统 PES》是一个围绕优化油井生产这一终极目标建立的整合各种技术的平台，将随着各种技术的发展而不断向前发展。

## 技术支持：



中国石油大学（北京）

北京雅丹石油技术开发有限公司

www.Petrosoftonline.com

010-69706217 69706227 69706536