

抽油机井地面设备组合优化与节能技术

龚大利^{1,2} 王金东¹ 任永良¹

(东北石油大学机械科学与工程学院¹, 大庆 163318; 中石油昆仑合燃压缩气有限公司², 合肥 230075)

摘要 抽油机井的各种节能型机电设备的优化配置可以显著提高抽油机井的系统效率。按照可独立进行节能改造的原则,将抽油机井地面系统划分为电控箱、电动机、抽油机三个单元,建立了抽油机井数据库。提出了地面设备合理配置的混合离散变量优化模型,研究了求解策略,并编制了抽油机井地面设备优化组合软件。现场应用结果表明,利用抽油机井地面设备组合优化与节能技术开发的优化软件,可以实现抽油机井地面耗电设备的合理配置,提高系统效率,具有显著节能效果。

关键词 抽油机 电机 电控箱 组合优化 节能

中图法分类号 TE355.5; **文献标志码** A

大庆油田已进入特高含水开采阶段,随着油田开发的不断深入,采油成本逐年递增,企业管理难度日益增大,大力开展节能降耗,有效降低采油成本已成为油田开发工作的主要任务之一。有杆泵抽油机一直是油田生产用的主要采油设备,不但使用数量多、用电量大,而且系统效率低、节电潜力巨大。因此,油田非常重视抽油机井的系统效率和节能技术研究及推广工作^[1-7]。近些年,油田推广应用各种节能型抽油机、电机及电控箱,虽然这些节能产品的使用提高了抽油机井系统效率,但也随之产生一些问题,如它们能否组合使用,组合使用后的节能效果是否是单个节能产品节能效果的算术叠加等。由于抽油机、电机及电控箱等节能产品的多项技术指标都会对抽油机井系统效率产生影响,而且,不同技术指标之间也会相互影响,因此,难以精确描述各技术指标之间的关系。文中将混合离散变量多目标组合优化方法应用于抽油机井的节能改造和生产管理,可以实现对于不同工况的油井获得投入产出最佳生产目标的机电系统配置,为生产管理和决策提供科学依据,从而达到进一步提高机采系统效率、降低能耗、节约生产成本的目的。

1 抽油机井能耗单元及数据库

1.1 能耗单元

根据抽油机井系统的工作特点和测试原理,将系统分为七个单元,它们分别是:电控箱、电动机、抽油机、盘根盒、抽油杆、抽油泵和油管。以光杆悬绳器为界,将这七个单元划分为两大耗能部分:地面耗能部分和井下耗能部分。启中,井下耗能部分的优化已有多个可用软件^[8],而本文研究地面机电系统的节能优化问题。按照可独立进行节能改造的原则,地面系统可划分为电控箱、电动机、抽油机。

针对采油厂不同类型的抽油机,研究其输入、输出特性和节能特性。在得到在用抽油机实用资料的基础上,根据可选择的抽油机类型:常规抽油机、异相抽油机、前置抽油机、双驴头节能抽油机、单曲柄倍程抽油机、复合平衡节能抽油机、下偏杠铃改造节能抽油机,总结出抽油机这一单元所有可行的选择模式,包括各种选择的输入输出特性、节能特性、改造成本。对于电动机单元,需要研究超高滑差电动机、Y系列电动机、高扭矩电动机、永磁电动机、双功率电动机、高转差电动机、机电一体化拖动装置、660 V 防盗电一体化拖动装置等不同电动机的输入输出特性、节能特性、改造成本。对于电控箱单元,需要研究普通电控箱、动态无功补偿

2010年6月3日收到

第一作者简介:龚大利(1970—),男,博士,高级工程师。E-mail:gd121300@sohu.com。

电控箱、星角变换电控箱、智能节电控制器、微电脑控制电机节电保护器、变频器等不同电控箱的输入输出特性、节能特性、改造成本。

1.2 数据库

总结出可采用的不同设备与配套节能措施的组合种类,研究不同组合的机电结构、工作特性、节能原理、生产成本,建立每个单元采用任一组合时的输入、输出特性和节能特性以及与整个机电系统的关系(可用函数、图、表等方式表示),包括:能耗、机械效率、成本等关系。建立抽油机井数据库,存储不同单元、不同节能措施的组成、能耗、效率数据,为优化软件提供数据支持。数据库采用 dBase 开发。

2 多目标组合优化模型和求解

抽油机井经济运行节能优化研究的目的就是要寻求不同的地面单元组合来满足不同的设计要求。可将优化目标归结为:(1)系统效率最高为目标;(2)生产成本最低为目标;(3)兼顾效率和成本,总体最优为目标。

2.1 系统效率最高

该目标是通过地面系统不同的节能单元的组合作,寻找出一组抽油机井系统效率最高的单元配置,作为新开发抽油机井的依据。该优化目标不考虑各单元固定成本和运行成本。

设可选节能电机型号为 I 种,电控箱为 J 种,抽油机为 K 种。用 $E(x)$ 来表示第 x 种电机单独使用时的系统效率增量(相对于常规的电控箱、电动机、抽油机,下同),用 $E(y)$ 表示第 y 种电控箱单独使用时的系统效率增量,用 $E(z)$ 表示第 z 种抽油机单独使用时的系统效率增量,用 $E(x, y, z)$ 表示第 x 种电机、第 y 种电控箱与第 z 种抽油机叠加使用时,节能单元之间相互作用对系统效率的影响,则优化数学模型为:

$$\max f_1(x, y, z) = E_0 + E(x) + E(y) + E(z) + \prod E(x, y, z) \quad (1)$$

$$\text{s. t.} \begin{cases} E(x) \geq (\delta_1), E(y) \geq (\delta_2), E(z) \geq (\delta_3) \\ x \in (0, 1, 2, \dots, I) \\ y \in (0, 1, 2, \dots, J) \\ z \in (0, 1, 2, \dots, K) \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中, E_0 为常规电控箱、电动机、抽油机配置的系统效率; $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ 为根据生产实际设定的系统效率最低增量。

2.2 生产成本最低

该优化目标是使抽油机井地面机电系统固定投资和运行费用最小。用 $F(x)$ 、 $S(x)$ 、 $Y(x)$ 分别表示第 x 种电机固定投资、固定资产残值和固定资产使用年限,用 $F(y)$ 、 $S(y)$ 、 $Y(y)$ 分别表示第 y 种电控箱固定投资、固定资产残值和固定资产使用年限,用 $F(z)$ 、 $S(z)$ 、 $Y(z)$ 分别表示第 z 种抽油机固定投资、固定资产残值和固定资产使用年限,用 $R(x, y, z)$ 表示使用第 x 种电机、第 y 种电控箱与第 z 种抽油机的年运行总费用,则优化数学模型为:

$$\min f_2(x, y, z) = (F(x) - S(x))/Y(x) + (F(y) - S(y))/Y(y) + (F(z) - S(z))/Y(z) + R(x, y, z) \quad (3)$$

$$\text{s. t.} \begin{cases} x \in (0, 1, 2, \dots, I) \\ y \in (0, 1, 2, \dots, J) \\ z \in (0, 1, 2, \dots, K) \end{cases} \quad (4)$$

求解此模型,可求出系统总体费用最低的抽油机地面系统单元组合。

2.3 系统整体最优

使抽油机井地面机电系统效率最高,而且生产成本最低的多目标优化数学模型为:

$$\begin{cases} \max f_1(x, y, z) \\ \min f_2(x, y, z) \end{cases} \quad (5)$$

约束条件为式(2)。求解式(5)即可求得整体最优的抽油机、电机和电控箱组合。

2.4 模型求解

由式(1)~式(5)可知,该优化数学模型属于带有约束条件的非线性混合离散变量优化问题^[9],一般数学表达式如下:

$$\text{目标函数:} \min f[x], x \in E^n \quad (6)$$

约束条件: $s. t. g_j[x] \geq 0; j = 1, 2, \dots, m$ 。

$$x = \begin{pmatrix} x^D \\ x^C \end{pmatrix};$$

$$x^D = [x_1, x_2, \dots, x_p]^T \in E^D;$$

$$x^C = [x_{p+1}, x_{p+2}, \dots, x_n]^T \in E^C;$$

$$E^n = E^D \times E^C = \{ (x^D \cdot x^C) \};$$

$$x^D \in E^D, x^C \in E^C \}。$$

式中: p 为离散变量的个数; n 为设计变量的个数; m 为约束条件的个数; x^D 为离散变量; x^C 为连续变量。

由式(1)~式(5)确定的目标函数和约束条件, 可以选取混合离散变量优化设计程序 MDOD 来求解^[10]。MDOD 是综合非线性规划中的“爬山”策略思想和组合优化中的“查点”策略的基础上提出的一种约束非线性混合离散变量优化设计方法。这种方法能够在设计空间中直接搜索离散点, 它由“爬山”搜索和“查点”两个基本部分组成, 其主要构造思想如下: 首先从一个可行的离散点出发, 沿相对混合次梯度方向进行离散一维搜索, 从而得到一个使目标函数值减小同时又满足约束条件的新离散点。然后由此点开始继续重复, 直至当得不到这样的一个新点时, 就开始在离散子空间 E^D 和连续子空间 E^C 内进行轮变搜索, 若轮变搜索后能得到一个新的可行离散点, 则返回第一部的搜索过程; 否则, 即可根据停留的离散点的目标函数和约束函数所提供的信息, 按确定的规则在单位邻域内查点; 如果查找到了新的离散点, 则返回第一步的搜索过程, 否则根据最优解的基本性质, 此点即为局部离散最优解, 算法结束。

3 程序设计

针对上述数据库和优化模型开发了抽油机井地面设备优化组合软件。软件在 C++ Builder 集成开发环境下编写而成, 是基于 Windows 操作系统而设计的, 主要功能模块如下:

(1) 单元计算模块: 计算抽油机井系统各节点的输入、输出功率和单元效率, 并可单独输出。

(2) 单元效率、能耗分布计算模块: 用户通过选

择不同的地面单元组合, 估算出相应的单元效率、能耗分布图和固定投资分布。

(3) 数据录入模块: 主要完成电机、电控箱、抽油机、油井生产或设计参数等数据的录入或提取。

(4) 新井优化配置模块: 根据新井不同的设计目的进行优化组合, 选择一组符合要求的优化地面单元配置结果。

(5) 生产井优化诊断模块: 针对生产井进行优化诊断, 给出诊断结果和预测效率。

抽油机井管理工作水平的高低直接影响抽油机井各设备的效率和使用寿命, 比如, 抽油机的平衡度、传动皮带的张紧长度等, 特别是抽油机的平衡状况对抽油设备的效率和使用寿命影响最大。抽油机平衡度较低或过平衡都会影响抽油机井的系统效率。它将会增加抽油机悬点动载荷, 不仅会影响影响到四连杆机构、减速箱和电动机的效率和使用寿命, 而且会增大电动机的内耗, 使抽油机井的能耗增加, 从而导致系统的效率降低。此外, 地面设备润滑保养不良、传动皮带调整不及时、盘根盒调整不到位等也会降低抽油机井的系统效率。所以, 加强抽油机井的管理对于提高抽油机井的系统效率和延长抽油机设备的寿命都有很大的作用。因此, 在对抽油机井机电设备的组合优化程序中, 加入了抽油机井的管理措施, 只有在管理措施最优的情况下, 才能保证抽油机井机电设备组合优化结果在实际应用中的最佳运行状态。

4 现场应用

大庆第三采油厂在用游梁式抽油机型号有 20 种, 配套的电机型号大约 200 多种, 各类电控箱型号大约 300 多种。应用开发的软件对抽油机井地面机电设备进行诊断, 并根据优化诊断结果进行设备改造。表 1 是根据优化结果进行机电一体化拖动装置改造的 5 口油井的测试数据结果。由表 1 可以看出, 通过优化改造后, 5 口生产井平均效率提高 11.9%, 单耗降低 2.98 kW·h·t⁻¹, 系统平均的节点率提高了 30.6%。

表 1 抽油机井地面设备组合优化技术应用结果

井号	抽油机	措施前				措施后				对比	
		配电箱	电机	效率 /%	单耗/ (kW·h ⁻¹ ·t ⁻¹)	一体化 改造	效率 %	单耗/ (kW·h ⁻¹ ·t ⁻¹)	效率 /%	单耗/ (kW·h ⁻¹ ·t ⁻¹)	节电率 /%
B4-70-B252	CYJY10-3-53HB	抽油机节能装置	Y280S-6	24.11	7.2		29.4	6.0	+5.29	-1.2	16.7
B2-6-B86	CYJY10-4.2-53HB	ZJK 智能节电控制器	Y280S-6	5.0	9.84		29.76	4.5	+24.76	-5.34	54.3
B2-3-B99	CYJY10-4.2-53HB	智能控制装置	Y280S-6-C	23.3	9.3	YCHD280-6/8	30.1	8.7	+6.8	-0.6	6.5
B1-10-B272	CYJY10-3-53HB(T)	ZJK 智能节电控制器	Y280M-8-C	13.96	10.46		25.7	5.6	+11.74	-4.86	46.5
B1-1-B73	CYJY10-4.2-53HB	ZJK 智能节电控制器	YCY280M2-8	15.34	9.9		23.2	7.02	+7.86	-2.88	29.1
平均									+11.9	-2.98	30.6

5 结论

(1)在对抽油机井机电系统进行系统研究的基础上,按照可独立进行节能改造的原则,将地面系统划分为电控箱、电机、抽油机,总结出可采用的不同设备与配套节能措施的组合种类,研究了每个单元采用任一组合时的输入、输出特性和节能特性,以及与整个机电系统的关系,建立了抽油机井数据库。

(2)将多目标组合优化技术用于抽油机井机电系统节能设备的优化配置,建立了抽油机井地面机电系统效率最高,而且生产成本最低的多目标优化数学模型,开发了相应的软件,为油田机采设备的生产管理和决策提供了科学依据,为确保抽油机井高效低耗运行提供了有效的技术手段。

(3)油田现场应用结果表明,采用本文开发的软件对抽油机井进行优化,能够起到提高抽油机井系统效率和降低单耗的作用,抽油机井地面设备组合优化与节能技术具有较高的推广应用价值。

参 考 文 献

1 朱 君,姜民政,刘 宏. 有杆抽油系统的经济运行. 石油机械, 2003;31(6): 63—64

2 刘士玉,尤慧珍,许立红,等. 抽油机井节电设备配置优化试验与应用. 中外能源,2009;14(7): 96—98

3 许洪东. 机采井多参数整体优化技术. 油气田地面工程,2006; 25(9):31

4 崔旭明,张伟萍,孙英飞,等. 常规游梁式抽油机节能改造技术研究. 油气田地面工程,2008;27(9):18—20

5 邹振春,邓立新,王艳华. 游梁式抽油机节能技术及最新进展. 承德石油高等专科学校学报,2005;7(1):16—18

6 王同义,闫敬东. 提高抽油机系统效率的几点体会. 油田节能, 2005;16(1):48—50

7 陈兴元. 提高有杆泵采油系统效率方法的探讨. 节能,2005;3: 12—14

8 佟小峰,曲长发,李长勋,等. 机采井优化设计节能效果评价. 油田节能,2007;18(3):24—27

9 康德孚,孟庆兰. 约束非线性混合离散变量优化设计的一个方法. 东北农学院学报,1990;21(4):328—324

10 余 俊,周 济. 优化方法程序库 OPB-1 原理及使用说明. 北京:机械工业出版社,1994;210—247

A Technique of Combinatorial Optimization and Energy Saving for Ground Equipment of Pumping Unit Well

GONG Da-li^{1,2}, WANG Jin-dong¹, REN Yong-liang¹

(Mechanical Science and Engineering Institute, Northeast Petroleum University¹, Daqing 163318, P. R. China;
PetroChina Kunlun Gas Co., LTD², Hefei 230075, P. R. China)

[Abstract] The system efficiency of pumping unit well can be advanced evidently by the optimal configuration of various energy saving equipment. The ground equipment of pumping unit well is partitioned into three elements on the principle that the energy saving reconstruction can be put in practice independently. The three elements are respectively electric cabinet, electrical motor, and pumping unit. Subsequently, the database is established, the optimum model of mixed discrete variables is put forward in order to configure the ground equipment reasonably, the solution strategies are studied, and the combination optimization software is compiled. The applied results on oil field showed that the reasonable configuration for the ground equipment of pumping unit well can be realized by applying the new combination optimization software, the system efficiency is advanced, and there is an evident energy saving effect.

[Key words] pumping unit electrical motor electric cabinet combinatorial optimization energy saving

(上接第 6266 页)

参 考 文 献

1 王维维. 残余应力对厚壁冷弯双槽钢柱整体稳定性的影响. 武汉:武汉大学,2005

2 朱爱珠. 冷弯厚壁型钢冷弯效应试验研究及冷弯残余应力场分析. 武汉:武汉大学,2004

3 李硕本,李春辉,郭 斌,等. 冲压工艺理论与技术. 北京:机械

出版社,2002

4 胡世光. 板料冷压成型原理. 北京:国防工业出版社,1979

5 陈火红,于军山,席源山. MSC. Marc/mentat2003 基础与应用实例. 北京:科学出版社,2004

6 张文燕,郭 然,王维维. 厚度对冷弯厚壁型钢残余应力的影响. 昆明理工大学学报增刊,2009;34:118—121

Effect of Relatively Bend Radius on the Cold-formed Residual Stress of the Thick Wall Shaped Steel

ZHANG Wen-yan, GUO Ran, WANG Wei-wei, DONG Xiu-yu

(Faculty of Civil Engineering and Architecture of Kunming University of Science and Technology, Kunming 650024, P. R. China)

[Abstract] Aims to simulate the process of the sheet forming with the 3D-finite shell models established by the commercial codes, the distribution of the axial stresses are analyzed and compared at the end section or along the radius in the bending place of the panels with the thickness of 1 and the relatively bend radius of 1,2,3,4. The effects of relatively bend radius on cold-formed residual stress are obtained by comparing these four models, which provide a reference for the further stability analysis and the theory foundation of the process optimizing for the industrialized producing as far as possible.

[Key words] relatively bend radius cold-roll forming finite element method residual stress