

The Analysis and Countermeasure of Electricity Energy Exhaustion in the Course of the Oil Field's Mechanical Oil Extraction

Ting Cai

The Technological Monitoring Center of SINOPEC Henan Oilfield Branch Company, Nanyang
Email: cai.ting2009@163.com

Received: Apr. 4th, 2013; revised: Apr. 29th, 2013; accepted: May 8th, 2013

Copyright © 2013 Ting Cai. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: Deeply analyzing the electricity energy exhaustion during the course of the oil field's mechanical oil extraction is of great importance in reducing the exploitation cost and enhancing the efficiency of the oil machines. This thesis discussed the electricity energy supply mode, the electricity equipment, the production methods etc. of the oil wells. It analyzed the factors that influence the electricity exhaustion in the course of the oil field's mechanical oil extraction. At last, the thesis brought forward some countermeasures to enhance the efficiency of the oil machines.

Keywords: Mechanical Oil Extraction; The Analysis of Electricity Energy Exhaustion; Countermeasure

油田机采配电能耗分析与对策

蔡 婷

河南南阳中石化河南油田分公司技术监测中心, 南阳
Email: cai.ting2009@163.com

收稿日期: 2013年4月4日; 修回日期: 2013年4月29日; 录用日期: 2013年5月8日

摘 要: 深入分析油田机采系统的电能消耗对降低油田开发成本, 提高抽油机效率具有十分重要的意义。本文从油井供电方式、电气设备、生产方式等方面进行论述, 分析了影响机采系统配电能耗的因素, 提出了提高油井机采用电效率的具体措施和对策。

关键词: 机采; 电能耗分析; 对策

1. 引言

油田既是能源生产企业, 也是能源消耗大户。目前在某采油厂开发过程中, 机采系统耗电 1.8014×10^8 kW·h, 占全厂总用电量的 51%, 机采设备已是该厂主要的耗能设备。特别是近年进入后期开发阶段, 低产低效井逐年增多, 抽油机电机大多已处在“大马拉小车”状态下运行, 同时一批高能耗油井电气设备还在继续使用, 使部分油井系统效率很低, 电力浪费严

重, 投入与产出的矛盾日趋突出, 对开发效益的增长和生产经营指标的完成构成严重影响^[1]。

中石化河南油田的于传聚教授曾在“油田机采系统 1.14 kV 集中控制供配电节电技术”一文中, 针对油田油井供配电系统存在的设备效率低、能耗高、可靠性差的问题, 围绕 1.14 kV 集中控制, 提出实行油井集中控制管理, 有利于实现节电降耗、提高供电可靠性, 达到降本增效的目的^[2]。

因此, 加强机采系统电能分析, 注重对井场配电

设备的优化配置和能耗分析，对于降低电力消耗，缓解油田用电紧张状况，降低吨油成本，达到节约能源、保护环境，具有十分重要意义。

2. 影响机采系统配电能耗的因素

机采系统是通过电能对抽油机等机采设备进行驱动，把井下液体举升到井口，再通过管线，把产出液输送至集油站的过程。整个机采系统的运行，就是一个能量不断传递和转化的过程，能量的每一次传递和转化都将损失一定的能量。在机采系统能耗分析中不仅要考虑机械传动因素，还要考虑配电能耗因素。本文针对配电能耗因素，从供电方式、电气设备、抽油机等几个方面进行综合分析和优化。

2.1. 供电方式——单井单变的供电模式

该采油厂机采系统采用的是一台变压器对应一口油井的“单井单变”供电模式，经过 30 多年来的滚动发展，这种方式造成高、低压线路布局不合理，高压线路长、分支多，变压器台数多，电网损耗大，并且管理分散，线路易发生故障，影响了油井线路供电可靠性。

2.2. 电气设备——井场变压器效率低

为了保证油井开井时的启动力矩，起动力矩要求拖动电机的起动力矩是抽油机实际负载的 3~4 倍，按起动力矩选择则负载功率必然匹配不佳，电机的功率偏大，造成变压器的容量配备也偏大，在单井单变供电方式下，变压器平均负载率仅 35% 左右。

2.3. 抽油机——电动机负载率低

一般电机最佳运行效率在额定负载附近，即在

0.7~1.1 $P_{\text{额}}$ 之间，而现在井场上大多数电机的负载率都比较低，一般只有 30% 左右。节能检测数据(见表 1)表明，由于油井经过不断开采，供液不足，造成电机负载率降低，全厂平均有功功率是 11.35 kW，油井功率因数平均约 0.46 左右，电机功率利用率约为 30.78%，系统效率仅为 32.57%，使“大马拉小车”现象非常突出，油田的实验表明，提高电机负载率 5%~10%，系统效率可提高 2%~4%，节电率可达 10% 左右。

3. 提高机采系统配电效率的措施

3.1. 改变供电方式，采用油井集中控制供电

对分布较集中的油井实行集中配电，由原来单井变压器供电改造为集中变压器供电(如图 1)。各油井总负荷的峰、谷互相交错，总体负荷波动较小，用一台大容量低压侧电压为 1.14 kV 的节能型变压器为 10~20 口油井供配电，以减小变压器的在线数量及线路分支，减少线路隐患点，提高变压器的负载率，降低损耗。

建设集中控制配电室，安装 1.14 kV 油井集中控制成套装置，保护、计量等电气参数可远方监控及集抄管理，应用 1.14 kV 油井专用电缆减少油井供电电

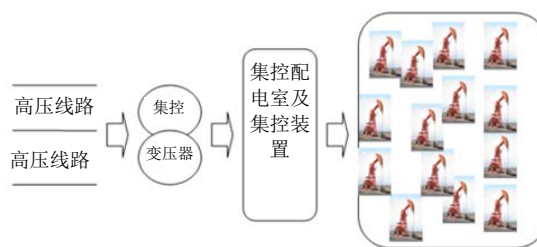


Figure 1. 1.14 kV centralized power supply technology of oil wells
图 1. 1.14 kV 油井集中供电技术

Table 1. Mechanical oil extraction system efficiency of oil production plant
表 1. 采油厂机械采油系统效率

被测部门	井数(口)	有功功率 kW	功率因数	抽油机平衡度%	电机功率利用率%	地面效率%	井下效率%	系统效率%	单耗 kw-h /10 ² m.t
魏岗矿	33	11.42	0.362	105.0	25.49	49.29	62.91	31.12	0.88
江河矿	36	9.78	0.468	97.69	30.70	61.22	57.77	34.42	0.80
双河矿	25	11.93	0.496	108.00	38.51	52.61	61.59	32.18	0.85
下二门矿	18	12.27	0.610	109.86	28.73	48.32	65.75	31.25	0.87
全厂	112	11.35	0.466	104.10	30.78	54.20	61.14	32.57	0.84

缆的故障率。配电电压等级由 0.4 kV 提高到 1.14 kV, 电缆供电距离是 0.4 kV 的 3 倍, 具有供电距离长、油井电缆截面小等优点。在保证电压降不超过 5% 的前提下, 可将 0.6 km 范围以内的油井采用 1.14 kV 电压等级集中配电控制, 安装室内集中控制装置, 取消室外的变压器低压配电箱。安装无功动态补偿装置, 可将集控配电室的功率因数由原来的 0.4 提高到 0.85 以上, 使变压器低压侧功率因数不低于 0.85, 有效地降低高压配电线路的无功损耗。

2010 年采油厂将 16 口油井改为由 1 台变压器供电的集中控制, 并安装了自动跟踪补偿装置, 油井集中控制前后对比监测数据如表 2。

改造后, 变压器容量减少 910 kVA, 变压器损耗降低了 5.309 kW; 采用了电容自动跟踪补偿, 功率因数由 0.4 上升到 0.9, 减少了无功损耗。经综合测算, 油井系统总的损耗率是下降的, 由改造前的 5.796% 下降到 3.949%, 节能效果明显。

可见, 改变机采系统的供电方式, 是提高机采系统用电率、降低电能损耗的一个有效途径。在采油厂实施集中控制改造, 节电潜力很大, 可把 900 多口油井纳入集中控制, 将减少变压器容量 4.6×10^4 kVA, 装机容量可减少 56%, 年预计可减少机采系统电耗 210×10^4 kW·h。

3.2. 应用节能型电气设备降低系统能耗

3.2.1. 淘汰高能耗变压器

1) 高耗能变压器换用节能型变压器。结合现场实际情况, 有计划、有步骤地将老型号、高耗能变压器更换为低铜损、铁损的新型节能变压器。

目前该采油厂仍有 S7 型配电变压器 343 台, 100 kVA 变压器占多数, 总容量 3.56 万 kVA, S7 变压器是按照 60 和 70 年代当时“64”和“73”标准设计的产品, 损耗非常高, 1998 年底, S7 型变压器及以前的产品已由国家先后公布淘汰, 停止其生产和销售, 淘汰 S7 型变压器节能潜力巨大。

采油厂新建产能主要采用 S11 型节能变压器, S11 型变压器卷铁心改变了传统的叠片式铁心结构, 硅钢片连续卷制, 铁心无接缝, 大大减少了磁阻, 空载电流减少了 60%~80%, 空载损耗降低 20%~35%, 提高了功率因数, 降低了电网线损, 改善了电网的供电品质。

以 100 kVA 变压器损耗来计算:

1) S7-100 kVA/0.4 kV:

有功损耗:

$$\Delta P = P_0 + K_T \beta^2 P_K = 0.32 + 1.05 \times 0.35^2 \times 2 = 0.57725 \text{ kW}$$

无功损耗:

$$\begin{aligned} \Delta Q &= Q_0 + K_T \beta^2 Q_K \\ &= 2.3\% \times 100 + 1.05 \times 0.35^2 \times 4\% \times 100 = 2.8145 \text{ kW} \end{aligned}$$

综合功率损耗:

$$\begin{aligned} \Delta P_Z &= \Delta P + K_Q \Delta Q \\ &= 0.57725 + 0.1 \times 2.8145 = 0.8587 \text{ kW} \end{aligned}$$

2) S11-100 kVA/0.4 kV:

有功损耗 :

$$\begin{aligned} \Delta P &= P_0 + K_T \beta^2 P_K \\ &= 0.205 + 1.05 \times 0.35^2 \times 1.5 = 0.3979 \text{ kW} \end{aligned}$$

无功损耗:

$$\begin{aligned} \Delta Q &= Q_0 + K_T \beta^2 Q_K \\ &= 1.6\% \times 100 + 1.05 \times 0.4 \times 0.4 \times 4\% \times 100 \\ &= 1.89 + 0.84672 = 2.272 \text{ kW} \end{aligned}$$

综合功率损耗:

$$\Delta P_Z = \Delta P + K_Q \Delta Q = 0.3979 + 0.1 \times 2.272 = 0.6251 \text{ kW}$$

式中: Q_0 : 空载无功损耗(kvar); P_0 : 空载损耗(kW); P_K : 额定负载损耗(kW); S_N : 变压器额定容量(kVA); $I_0\%$: 变压器空载电流百分比; β : 负荷率, 油井取 35%; K_T : 负载波动损耗系数, 取 $K_T = 1.05$; Q_K : 额定负载漏磁功率(kvar), $Q_K \approx U_K\% S_N$; K_Q : 无功经济当量

Table 2. Before and after comparison of oil wells being centralized controlled
表 2. 油井集中控制前后对比

项目	井数	低压线路总损耗(kW)	线损率%	变压器(台)	变压器容量(kVA)	变压器损耗(kW)	变损率%	油井配电总损率%
改造前	16	2.537	1.106	14	1540	11.23	4.69	5.796
改造后	16	2.546	1.213	1	630	5.921	2.444	3.949

(kW/kvar), 工业企业电网的 6~10 kV 降压变压器取系统最小负荷时, 其无功当量 $K_Q = 0.1 \text{ kW/kvar}$ 。

从综合损耗对比可看出, S11 型比 S7 型能耗降低了 0.2336 kW, 如果将 343 台 S7 变压器更换为 S11, 一年可降低电耗 $70 \times 10^4 \text{ kW}\cdot\text{h}$ 。

2) 提高变压器的运行负载率, 更换长期轻载的变压器。为减少变压器铁损, 应当对负载率小于 30% 的变压器进行调配, 调整为容量较小的变压器, 使变压器在经济负载下运行, 有效降低变压器的铁损。

3) 及时停用空载变压器。通过调整运行方式, 停用部分空载变压器, 以达到降低变压器空载损耗、节约电能的目的。

3.2.2. 淘汰高能耗电机

永磁电机^[3]是在异步电机基础上, 在转子鼠笼条内嵌入稀土永磁钢, 达到异步启动、同步运行目的, 结构简单, 运行可靠; 体积小, 质量轻; 损耗少, 效率高; 不需要无功励磁电流, 可以显著提高功率因数, 减少了定子电流和定子电阻损耗, 无功损耗少, 节约了无功功率, 功率因数由原来的 0.4 提高到 0.9 以上, 同时由于定子永磁固有磁性, 减少了对电网变压器的无功需求, 降低了电机配备的变压器容量, 电动机的铜损耗和铁损耗亦大幅减少, 提高了电机固有效率, 从而使其效率比同规格感应电动机可提高 2~8 个百分点。还具有曲线平坦、起动转矩大、过载能力强等优点, 非常适合于抽油机的特殊运行工况。目前采油厂

约有 53% 的普通 Y 系列电机, 根据对各采油基层队应用情况的跟踪检测, 节电效果较好。

现场对 9 台油井电机进行测试(见表 3), 普通电机的平均功率因数为 0.324, 平均无功功率 12.39 kvar, 永磁电机的平均功率因数为 0.884, 平均无功功率 2.21 kvar, 单耗下降了 25.24%。由测试数据可见, 永磁电机的无功功率远低于普通电机, 而功率因数远高于普通电机, 同时, 无功功率的减少, 有助提高变压器利用率; 降低变压器输出电流, 减少变压器铜损; 改善电网供电质量。

3.2.3. 应用低压变频调速技术

在负荷波动范围较大、间歇做功的电机上, 推广使用变频调速。变频调速作为一种高效节能新技术, 被广泛应用在电机类设备上。该采油厂在 55 口油井安装了变频器, 通过变频器调节抽油机井的供电频率, 不用更换电机就可以改变抽油机的冲次, 解决供液不足油井的高能耗问题, 达到降低电能消耗的目的, 其节能效果和潜力都非常可观。

3.3. 优化抽油机井生产参数

对日产液量低于 $10 \text{ m}^3/\text{d}$ 供液严重不足的低产油井, 为提高泵效, 降低能耗, 该采油厂共实施间歇开抽 29 井次, 平均日产液基本保持不变, 单井泵效平均提高了 13.49%, 系统效率平均提高了 4.58%, 平均有功节电率 38.57%, 累计节电 $27.9 \times 10^4 \text{ kW}\cdot\text{h}$ 。这样

Table 3. Electric parameter measurement datum of oil wells' motor
表 3. 油井电机电参数检测数据

油井电机类别	序号	平均有功功率 kW	平均无功功率 kvar	视在功率 kVA	功率因数
普通电机	1	4.96	14.11	14.96	0.332
	2	2.96	4.55	5.43	0.545
	3	10.53	15.04	18.36	0.57
	4	7.68	12.32	14.52	0.52
	5	6.79	11.35	13.23	0.51
	平均	6.58	11.47	13.22	0.50
永磁电机	6	9.15	1.28	9.24	0.990
	7	8.2	0.68	8.23	0.996
	8	13.09	1.73	13.20	0.992
	9	10.25	1.56	10.37	0.988
平均	10.17	1.31	10.25	0.992	

在不影响总体日产液量的情况下，大大提高单井效率，达到节能降耗和延长单井设备使用寿命的目的。

4. 结论

机采系统配电能耗分析是一个综合的过程，电气技术应用与机采工艺的优化是相辅相成的，针对油井参数的变化，需从技术、管理两方面综合考虑，制定合理措施调整机采系统生产参数，优化机采系统的运行方式，实现效益最大化。

参考文献 (References)

- [1] 谢义华. 提高抽油机井系统效率技术在江汉油田的应用[J]. 江汉石油科技, 2004, 3: 45-47.
- [2] 于传聚, 文辉. 油田机采系统 1.14 kV 集中控制供配电节电技术[J]. 电气技术, 2012, 1: 96-98.
- [3] 牛烁, 胡慧强等. 油田机采系统效率影响因素分析与防止对策[J]. 节能, 2003, 4: 249.