

杨凌 LNG 工厂功率因数治理策略分析及改造创新实践

贾飞 胡敏

陕西液化天然气投资发展有限公司 陕西杨凌 712100

摘要: 本文从杨凌 LNG 工厂生产过程中存在的功率因数不达标问题展开论述, 分析了不达标的原因, 提出了电抗器、SVC、SVG 三种改造方案并进行分析比较, 重点阐述了 SVG 的控制策略, 确定了最优的 SVG 方案并进行改造创新实践, 通过动态控制考核点的无功功率, 使杨凌 LNG 工厂存在的功率因数问题得到了有效解决, 提高了企业设备管理水平, 为企业带来了良好的经济效益。

关键词: 功率因数治理; SVG; 充电功率

Power factor management strategy analysis and innovation practice of Yangling LNG plant

Fei Jia Min Hu

12 Shaanxi LNG Investment Development Co., Ltd. Shaanxi Yangling 712100

Abstract: This paper discusses the problem of substandard power factor in the production process of the Yangling LNG plant, analyzes the causes of substandard power factor, and puts forward three transformation schemes of the reactor, SVC, and SVG for analysis and comparison. It focuses on the control strategy of SVG, determines the optimal SVG scheme, and carries on the transformation and innovation practice. In this paper, by dynamically controlling the reactive power of the test points, the power factor problem of the Yangling LNG plant has been effectively solved, the equipment management level of the enterprise has been improved, and the enterprise has brought good economic benefits.

Key words: power factor management; SVG; Charging power

引言

LNG 行业是国家鼓励的新能源产业, 正越来越多的得到认可, 并且近几年国内 LNG 工厂的建设数量和规模都得到了突飞猛进的发展^[1]。LNG 工业的发展离不开电力系统的支撑, 杨凌 LNG 工厂设置 1 座 110KV 变电站 (燃气变), 主变容量 $2 \times 40\text{MVA}$, 全厂正常生产情况下负荷约 3.3 万 KW, 工厂电气设备种类繁多, 包括变压器、电动机、变频器等, 这些设备作为生产过程的重要环节, 组成了工厂电气系统。电气设备实际运行过程中经常会暴露出一些设计、选型、制造等方面的缺陷, 导致出现安全风险、经济损失, 甚至造成人身伤亡事故。杨凌 LNG 工厂存在的功率因数不达标问题给企业造成了较大的经济损失, 对此问题进行研究解决, 显得尤为紧迫。本文以在杨凌 LNG 工厂实施的功率因数改造创

新案例展开探讨。

一、背景

杨凌 LNG 工厂燃气变由永安变通过两条约 5 公里 110KV 电缆 (1199 燃永 I 线, 1198 燃永 II 线) 供电。正常液化生产情况下燃气变负荷约 3.3 万 KW, 设备停车检修期间和冬季气化生产期间负荷较低 ($\leq 2500\text{KW}$)。电费计量点设在永安变, 两条线路各设置一个计量点。正常生产情况下系统功率因数 ≥ 0.9 , 设备停车检修期间和冬季气化生产期间系统功率因数为 < 0.9 , 达不到供电局的考核要求而产生功率因数罚款。杨凌 LNG 工厂 2020 年每月用电数据见表 1, 表 1 中功率因数调整电费为正表示罚款、为负表示奖励。

二、问题分析

2.1 基本用电情况

月份 项目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
功率因数	0.52	0.51	0.98	0.97	0.98	0.98	0.98	0.98	0.94	0.98	0.98	0.94

功率因数调整电费 (万元)	30	42	-1	-8	-6	-8	-7	-8	-4	-8	-8	-2
有功电量 (万 KWH)	142	203	583	2163	1550	2195	1967	2334	1403	2212	2163	645
无功电量 (万 Kvarh)	235	345	248	440	372	468	436	515	488	475	439	224

表 1 杨凌 LNG 工厂 2020 年每月用电主要数据

根据供电局的考核规则, 功率因数的大小取决于月度无功电量 / 有功电量的值, 比值越小功率因数越接近于 1, 奖励电费的比率就越大, 以实际产生电费为基准, 最大为 0.75%; 比值越大功率因数越接近于 0, 罚款电费的比率就越大, 以实际产生电费为基准, 最大为 145%。当功率因数恰好为 0.9 时, 不罚不奖。

2.2 无功电量分析

由表 1 得出 2020 年 1 月和 2 月功率因数不合格的原因皆为无功电量与有功电量比值较大。杨凌 LNG 工厂生产状态只有三种, 即液化生产、气化生产和检修。2020 年 1 月和 2 月设备处于气化生产或者检修状态, 系统功率约为 1900KW 到 2800KW 之间, 主要是感性负载, 按照设备理论功率因数 0.8 计算, 那么根据公式:

$$Q_1 = \sqrt{\left(\frac{P_1}{0.8}\right)^2 - P_1^2} \quad (1)$$

得出无功功率最大值 Q_1 为 2100Kvar, 即可得出月度最大无功消耗量约为 151 万 Kvarh, 而实际中 2020 年 1 月和 2 月无功电量分别达到 235 万 Kvarh 和 345 万 Kvarh, 远大于设备实际消耗的无功电量, 超出的这部分无功电量从哪里来? 由于高压电缆具有较大的对地电容, 随着电缆线路的增加, 大量电缆所产生的充电功率对电网的无功平衡造成了一定影响^[2]。也就是说系统无功发生了返送, 因为计量点在电缆末端供电局侧, 所以表 1 出现的无功电量为正向无功和反向无功之和。

2.3 电缆充电功率计算

1199 燃永 I 线、1198 燃永 II 线两回 110kV 线路, 电缆型号均为: YJLW02-64/110 1*300, 该型号电缆参数表如表 2。

电缆充电功率的计算公式如下:

$$\Delta Q_L = \frac{U_N^2}{X_L} \quad (2)$$

$$U_N = \frac{U_L}{\sqrt{3}} \quad (3)$$

$$X_L = \frac{1}{2\pi fC} \quad (4)$$

$$C = L \times C_0 \quad (5)$$

式中: U_N 相电压; U_L 为线电压, 此处为 110KV; X_L 表示线缆的容抗; C_0 为电缆每千米的电容量, 此处 0.146 μF L 是电缆的总长度, 此处为 30KM。

导体截面 mm ²	导体直径 mm	电缆外径 mm	导体电阻 / km		载流量 A	电容 μF /km	短路电流 kA/3S	
			20 直流	90 交流			导体	金属护套
300	20.6	91.1	0.0601	0.0766	597	0.146	25	22

表 2 YJLW02-64/110kV 电缆型号参数

由以上公式可以计算出两回路三相 5km 的该型号电缆充电功率约为 5.5Mvar, 每一回路充电功率均约为 2.75Mvar。2020 年 1、2 月设备处于气化生产或者检修状态, 系统负荷约为 1900KW 到 2800KW 之间, 1199 和 1198 每条线路的负荷均在 1000KW 左右, 不足以吸收完电缆产生的容性功率, 发生无功返送。

2.4 设计缺陷

燃气变运行方式为 110kV I 母、II 母分列运行, 10kV I 母、II 母分列运行, I 母、II 母均已加装两台 2Mvar 电容器。由前述数据得知, 系统在液化生产的负荷与气化生产或者检修状态的负荷比值约为 10-15。在液化生产时, 系统负荷为 3.3 万 KW, 主要为电动机供电, 负载特性为感性, 将电缆无功全部吸收, 功率因数均合格; 设备处于气化生产或者检修状态时, 系统负荷较小, 因 1199 和 1198 线路的存在使得负载特性为容性。而原来设计只在 10kV I 母、II 母分别设置了 2 台 2Mvar 的电容, 能够满足重载情况下容性无功补偿的需求, 而忽略了轻载时长距离电缆回路存在较大充电功率、系统需要感性无功补偿的情况。

2.5 总结分析

功率因数不合格的原因如下: 1. 供电系统中存在较长距离电缆线路, 即存在电缆充电无功; 2 系统有轻载且轻载时不足以吸收电缆的充电无功; 3. 考核点设置在电缆末端供电局侧; 4. 用户侧没有能够与系统相适应的感性补偿设备来消除电缆的充电无功。

三、改造方案

3.1 改造设备选型比较

功率因数的大小只与考核点的无功电量和有功电量

有关,有功电量取决于负荷大小,不能人为控制,因此只能控制无功。对于 110KV 降压变电站,目前常用的无功补偿方式多是在低压侧 10KV 母线集中补偿。对于杨凌 LNG 工厂实际,治理功率因数问题在于感性无功补偿,补偿设备能够发出感性无功的量,应不低于 2.75Mvar,

取一定裕量,确定设备容量为 3Mvar。目前市场上有三种可以提供感性无功的设备,即电抗器、SVC(静止无功补偿器)及 SVG(静止无功发生器),相同容量 3Mvar 的这三种补偿设备的比较如表 3:

表 3: 3 种不同的补偿方案的比较

序号	比较项目	电抗器	SVC	SVG
1	补偿原理	固定补偿	可控硅调节电抗加多组电容	电压源型逆变器,无功电流灵活连续可控。
2	补偿能力	感性 3Mvar	感性 3Mvar-容性 3Mvar 连续动态调节,需要通过控制电力电容器来进行分级调节,一般最低为 5Kvar。	感性 3Mvar-容性 3Mvar 连续动态调整,补偿精度 0.1Kvar。
3	控制方式及闭环响应速度	人工手动投切,响应速度为 s 级	自动连续无功功率控制,响应时间为 20-40ms。	自动动态补偿,响应速度 5ms 以内。
4	安全可靠	可能会由于谐振或吸收谐波过多及频繁投切而损坏,易导致谐波电压放大。	较易发生谐振放大现象,系统电压波动大时,补偿效果受很大影响。	电流控制,电流输出可以限幅,不会发生谐振或谐波电压放大。
5	合闸涌流和过电压	易产生操作过电压	电容器投入时产生合闸涌流,切除时存在操作过电压。	无涌流和过电压情况。
6	电能质量问题	不产生高次谐波	产生较大的高次谐波	几乎不含谐波成分,同时能够抑制电压闪变 ^[3] 。
7	运行损耗	能耗相对较小	当系统需要输出感性无功时,必须全部吸收额定的容性无功,设备损耗大。	约为 SVC 代表性产品(MCR 或者 TCR)的 1/4
8	造价(万元)	约 20	约 40	约 75
9	综合评估	只能固定补偿	可以满足补偿的量,但最明显的缺点就是有谐波的产生,难以满足危险化学品生产单位对电气系统高可靠性要求。	可以动态精准控制无功功率,满足供电质量高可靠性的要求。

综上,虽然三种方案价格差异较大,但 SVG 作为目前最先进的无功补偿设备具有调节范围宽,调节灵活,响应速度非常快,精度高,产生高次谐波少,安全性好等优点,更适合杨凌 LNG 工厂电气系统无功功率动态精确控制和高可靠性的要求。

3.2 控制策略及方案确定

拆除燃气变 10KV 母线侧原来的 2 号、3 号电容器柜,在原电容器柜位置上各安装一套容量为 3Mvar 的 SVG,采用风冷。分别对 10kV I 段母线和 II 段母线进线点电流采样,采取定功率因数模式,将电缆的充电功率偏差值写入 SVG 的控制程序中,根据负载的变化来动态控制 SVG 的输出。接线示意图(以一条线路为例)如下图 1 所示:

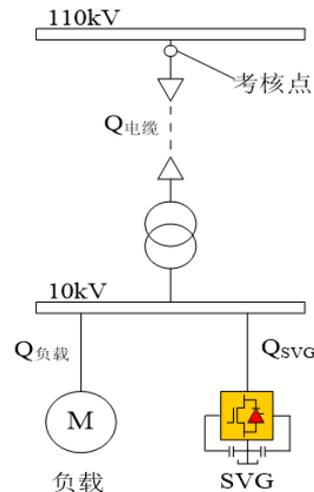


图 1 SVG 与系统接线示意图

上图中, $Q_{\text{电缆}}$ 表示电缆充电无功; $Q_{\text{负载}}$ 示负载所需无功; Q_{SVG} 表示 SVG 输出无功。

由前述计算可知,电缆充电无功大约为 2.7Mvar,以 2.7Mvar 为例,将其作为 SVG 控制方式的偏差值,假设负载无功波动为容性 0Mvar~感性 2.7Mvar,则实际 SVG 的输出容量如下式计算得出:

$$Q_{SVG} = -(Q_{\text{电缆}} + Q_{\text{负载}}) \quad (6)$$

上式中, 负号表示与实际需要的无功性质相反,

当负载无功为感性 2.7Mvar 时, 那么计算出 $Q_{SVG} = 0\text{Mvar}$, 表示 SVG 实际输出容量为 0; 当负载无功为 0 时, 计算出的 $Q_{SVG} = 2.7\text{Mvar}$, 表示 SVG 实际输出容量为感性 2.7Mvar。

有电机启动时, 假设电机冲击无功 5Mvar, 则 SVG 实际输出无功为:

$Q_{SVG} = -(Q_{\text{电缆}} + Q_{\text{负载}}) = -(-2.7 + 5) = -2.3\text{Mvar}$, 即 SVG 需输出容性 2.3Mvar。即无论负载怎样变化, 110KV 电缆的充电功率将几乎全部被吸收, 功率因数接近 1.0。理论上可以实现功率因数控制目标。

四、实施结果

(1) 实现了设备全自动运行, SVG 输出功率在容性 2.7Mvar 到感性 2.7Mvar 之间连续可变, 与系统无功需求动态匹配; (2) 无论系统负载如何变化, 功率因数始终 ≥ 0.99 ; (3) 2021 年 2 月改造完成投运当月, 功率因数达到 1, 远高于去年同期的 0.51, 当月产生功率因数奖励

费用 2.8 万元, 较上年同期的罚款 42 万元减少 44.8 万元, 经济效益明显。

五、结论

该项改造实施后, 实现了杨凌 LNG 工厂电气系统无功功率的动态控制, 降低了人为操作风险及作业强度, 保证了考核点功率因数始终 ≥ 0.99 , 同时也带来良好的经济效益。提升了企业技术管理水平, 同时对于具有类似问题的工厂供电系统的功率因数治理具有很强的借鉴作用。

参考文献:

[1] 常国宾. 浅析大型变频软启在 LNG 工厂一拖多启动中的应用 [C]. 第五届全国石油和化工电气技术大会论文集, 2020.

[2] 赵璞. 轻负荷时期高压电缆充电功率对电网无功平衡的影响分析 [J]. 浙江电力, 2013 (2): 20-22

[3] 董子华. 油田电网中静止无功发生器的研究 [D]. 东北石油大学, 2020.