

SVG补偿技术在天然气管线压气站上的应用

林森¹ 彭晶¹ 李岩¹ 苏展¹ 高少杰¹

摘要：天然气管线压气站常处于偏远地区，远离供电负荷中心，为改善压气站电能质量，避免因功率因数过低造成供电部门的力调电费罚款，需要对供电系统进行无功补偿设计。通过西气东输二线某压气站工程SVG的应用，分析压气站力调电费罚款的原因，对比常规无功补偿方案存在的问题，着重介绍了压气站内SVG供电设计方案，提出了适合压气站实际情况的SVG容量计算方法。该项技术在国内天然气管线压气站上应用取得了良好的效果，目前此方法已经在西气东输三线、轮南支干线等项目得到推广应用。

关键词：天然气管线；压气站；SVG；供电系统

Doi : 10.3969/j.issn.1006-6896.2016.8.024

SVG Compensation Technology in the Application of Natural Gas Pipeline Compressor Station

Lin Sen, Peng Jing, Li Yan, Su Zhan, Gao Shaojie

Abstract: Natural gas pipeline compressor station always stayed in remote areas, far away from the load center of the power supply. In order to improve power quality of the compressor station, to avoid the penalty from the power supply departments caused by low power factor, the design of reactive power compensation to power supply system is required. Through the application of SVG in the west to east gas pipeline II gas compressor station project, analyses the reason of the penalty to the compressor station, compared to the conventional reactive power compensation methods, emphatically introduces the power supply design of SVG, puts forward a calculation method of SVG capacity which is suitable for the actual condition of compressor station. The SVG compensation technology is successfully used in the domestic gas pipeline compressor station, At present, this method has been applied in the west to east gas pipeline III, and the gas pipeline project of LunNan Branch.

Key words: gas pipeline; compressor station; SVG; power supply system

1 问题的提出

电驱压气站是指用电动机驱动压缩机工作，使天然气得到加压输送的压气站。电驱机组的用电负荷一般占到压气站负荷的75%~85%，一旦压缩机停机，站内的负载率将非常低。天然气管线压气站常处于偏远地区，远离供电负荷中心，外电路很长，外电容性无功功率非常大。

近年，天然气市场下游用户消费量变化较大，根据北京油气调控中心统一调度，西气东输某压气站压缩机每月启机时间为1周，使得压气站供电系统负载率过低^[1]，从而出现一系列问题。

1.1 系统功率因数过低造成高额力调电费罚款

经测量，压气站供电系统功率因数为0.4，根据《功率因数调整电费办法》（水利电力部、国家物价局文件——（83）水电财字第215号）文件，不能满足功率因数0.9的考核指标，如果不进行治疗将造成压气站运行单位每年多缴纳巨额的力调电费，造成严重的经济损失^[2]。

根据供电公司收费标准，压气站所交电费主要分为三部分：第一部分是变压器容量的基本电费×力调电费费率；第二部分是有功电费×力调电费费率；第三部分是照明电费，由于照明部分在整个压气站内所占比例非常小，只有几千元，不再进行计算。

¹ 中国石油天然气管道工程有限公司

压气站供电系统功率因数只有0.4 (此数据为目前供电部门实测数据, 这是由于压气站外线路长达40 km, 且线路所经地点干扰较多。但此数据低于理论计算值), 力调电费费率 = 1+65%=1.65 (功率因数表中, 当功率因数低于0.64, 每低0.01费率增加2%)。

压气站安装两台63 000 kVA变压器 (目前只运行一台), 电费为63 000 × 24=151.2万元 (24元/kVA为基本容量电价, 按照供电公司收费标准, 压气站内只要变压器带电运行, 不管是否带负荷工作, 必须缴纳该部分电费)。第一部分电费 = 151.2 × 1.65=249.48万元。压气站目前每月有功电费平均为17.28万元, 第二部分电费 = 17.28 × 1.65=27.99万元。

因此, 因功率因数过低导致压气站每月多缴纳电费为 (151.2+17.28) × 0.65=109.51万元。

供电公司的功率因数考核是按月平均功率因数计算, 如果在一个月内有15~20站内压缩机可以满足负荷运行, 就可以完全或者部分避免力调电费。但目前压气站压缩机投运时间与原计划时间间隔过长。

1.2 系统功率因数过低造成电能质量下降

功率因数过低, 是因为无功功率占总功率的比值过高。无功功率不做功, 这部分电能电网内来回震荡, 将导致电流增大和视在功率增加, 造成整个电网系统容量下降。无功功率增加, 会使总电流增加, 从而使设备和线路的损耗增加, 线路的压降增大, 冲击性无功负载还会使电压剧烈波动^[3]。

2 无功功率计算

压气站由于采用了大功率中压变频调速装置, 该装置其本体的功率因数能达到0.9的要求, 所以压气站内的无功功率计算主要包括以下4个方面。

压气站外电线路感性无功损耗计算式为

$$\Delta Q_{l_1} = 3I_c^2 X \times 10^{-3} = 0.556 \quad (1)$$

式中: I_c 为计算相电流, A; X 为每相线路电抗, Ω 。

压气站外电线路容性无功损耗计算式为

$$\Delta Q_{c1} = \left(7.58/\lg\frac{d}{r}\right)10^{-6}U^2L \quad (2)$$

式中: d 为架空线间距, m; r 为每相线路导线半径, m; U 为线路电压, kV; L 为线路长度, km。

压气站主变压器感性无功损耗计算式为

$$\Delta Q_T = \Delta Q_0 + \Delta Q_k(S_c/S_r)^2 \quad (3)$$

式中: ΔQ_0 为变压器空载无功损耗, kvar; ΔQ_k 为变压器满载无功损耗, kvar; S_c 为变压器计算负荷, kVA; S_r 为变压器额定容量, kVA。

电缆充电容性无功损耗计算式为

$$\Delta Q_{c2} = \frac{U^2L}{X} \quad (4)$$

式中: U 为电缆电压, kV; L 为电缆长度, km; X 为电缆容抗, km。

单芯630mm²的110kV电缆电容值为0.177 μ F/km, 线路长度2.22 km, 由此计算电缆充电无功功率为1.49 Mvar。

同容量的感性无功功率和容性无功功率可以相互抵消, 但由于压气站外线路较长, 抵消后外线路的容性无功功率仍然很大 (外线路感性无功功率为0.556 kvar, 数值过小, 忽略不计)。

3 方案选择

压气站选择无功补偿方案时既要考虑压气站需要补偿感性无功的工况, 又要考虑需要补偿容性无功的工况, 所以解决方案一定要有双向性。压气站各种类型补偿方式见表1。

SVG是基于电压源型变流器的补偿装置, 其没有大容量的电容、电感器件, 通过大功率电力电子器件的高频开关实现无功能量的变换, 除了能补偿系统无功功率、提高功率因数外, 还具有谐波动态补偿、抑制电压波动和闪变、抑制三相不平衡的功能, 有响应速度快、补偿功能多样等优势^[4-5]。SVG补偿装置功能示意图见图1。

由于SVG属于有源型设备, 它不会与系统发生谐振, 并且无冲击涌流, 可以工作在谐波环境下, 在极短的时间之内完成从额定容性无功功率到额定感性无功功率的相互转换, 这种无可比拟的响应速度可以完成对冲击性负荷的补偿。

表1 各种类型补偿方式的对比

对比项目	电容补偿	有级调压式高压补偿	自动投切并联补偿	晶闸管投切电容器TSC	自饱和电抗器MCR型SVC	晶闸管控制电抗器TCR型SVC	SVG
无功功率控制	分级	分级	分级	分级	连续	连续	连续
谐波性能	几乎无	几乎无	几乎无	几乎无	加并联补偿时无	加FC时好	好
三相平衡能力	无	无	无	无	无	好	好
限制电压波动	无	无	无	无	一般	好	非常好
闪变改善状况	无	无	无	无	无	一般	很好

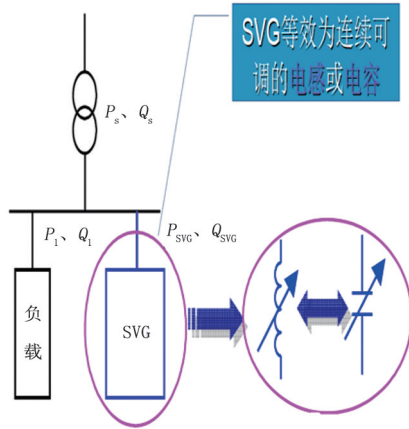


图1 SVG功能示意图

SVG从原理上可以等效为一个可控的电压源，通过分析系统电压 U_s ，调节SVG的电压波形 U_1 ，就可以根据现场工况发出或者吸收无功功率。

SVG可以自动检测出系统所需无功电流，从而输出与额定工况相近的无功电流。而其他类型动态补偿均靠电容器提供容性无功，其输出的无功电流与电网电压成正比，电网电压越低，其输出的无功电流也越低，所以对电网的补偿能力也相应变弱。这是其他类型动态补偿技术的本质缺点。

SVG采用了PWM技术，不仅自身产生的谐波含量极低，还能够对负载的谐波和无功进行补偿，实现有源滤波的功能，真正做到多功能化^[6]。

4 工程设计

由于原压气站并未考虑设置SVG房间，故采用集装箱式方案，在户外布置。压气站SVG电源引自10 kV母线，进线处设置隔离开关。箱体骨架为一体式焊接结构（图2）。

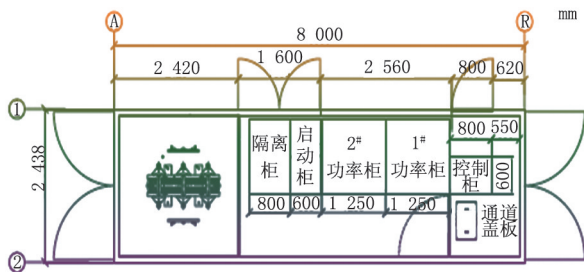


图2 SVG平面布置图

系统主电路采取链式“H”桥型接线方式，并采用冗余设计，满足“N-1”的运行要求。SVG系统中所有设备应具有相应的保护。

在上级出线断路器分合闸与SVG柜体之间应设置相应的连锁，如SVG柜应提供一个允许合闸的无源接点信号串联于上级出线断路器的合闸回路中；SVG柜应提供一个跳闸命令的无源接点信号并接于上级出线断路器跳闸回路中。

在SVG箱体内的控制室、充电装置室均设置烟雾传感器，可将报警信号上传，以防止发生火灾。箱体门内侧设置两个放置手持式消防装置的空间。集装箱内设辅助配电箱（柜），箱内设ATS开关，从低压开关柜提供两路380 V交流电源进线，用于辅助设备的供电。

5 结语

西气东输某压气站供电系统首次采用SVG设备，功率因数达到供电公司要求的0.9的考核指标，可避免缴纳高额的力调电费，并提高电能质量。实现了对长输管道站场供电系统的无功治理，有效降低了管道站场运行和维护难度，同时改善了供电系统的运行环境，提高了供电系统运行的安全性、可靠性。

在工程设计中，应充分结合压气站实际情况，采用简单易行的安装方式，通过计算确定SVG的容量时，应考虑20%~30%的富余容量。供电方案应考虑与上级出线断路器的互锁和保护功能的配合。

利用SVG解决天然气管线压气站电能质量的技术已经推广应用到西气东输三线管道工程、轮吐支干线增输工程等长输管道项目，为后续长输管道工程站场供电系统的无功治理提供了参考依据。

参考文献

- [1] 周国屏, 李冰臻, 蒋士朋. 需求侧功率因数管理及无功补偿优化研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2011, 32 (5): 6-9.
- [2] 陈雷, 肖靛. 浅谈新型静止无功发生器[J]. 电力电容器与无功补偿, 2011, 32 (3): 23-28.
- [3] 李旷, 郭白勇, 李兴, 等. 一种用SVG平衡电气化铁路单相负荷的方法[J]. 电源技术应用, 2010, 13 (5): 12-16.
- [4] 顾军, 王清灵, 郭家虎. 基于SVG的电网功率因数控制系统[J]. 电力自动化设备, 2011, 31 (2): 40-43.
- [5] 徐惠永. 无功功率补偿中SVG技术的研究现状与发展[J]. 应用能源技术, 2012 (2): 31-33.
- [6] 程汉湘, 伊项根, 刘建. SVG控制系统的稳定性研究[J]. 电力自动化设备, 2008, 28 (11): 53-55.

作者简介

林森：工程师，2007年毕业于北京邮电大学检测技术与自动化装置专业（硕士），主要从事电气系统的设计工作，0316-2074398, abbc2006@sina.com.cn, 河北省廊坊市和平路146号, 065000。

收稿日期 2016-04-27

(栏目编辑 关福君)