

变频及电能治理装置在电驱压气站的应用技术探讨

吕开钧¹, 李孟奇²

(1. 国家管网西气东输管道分公司, 上海 200122,

2. 中国石油工程建设有限公司西南分公司, 四川 成都 610000)

摘要: 天然气长输管道中电驱压缩机国产化设备运用广泛, 兆瓦级功率等级的变频驱动系统适用于管道运行多种工况, 但是对供电系统造成的低功率因数不可避免。通过某工程中典型电驱压气站的实际运用案例, 分析不同无功补偿方案结构特征和控制策略, 论述两种方案的适应性和技术优势, 为今后工程运用提供了完整的解决方案。

关键词: 无功发生器; 电能质量; 控制策略

Discussion on application technology of frequency conversion and electric energy treatment device in electric drive compressor station

LV Kaijun¹, LI Mengqi²

(1. PipeChina West East Gas Pipeline Company, Shanghai 200122, China;

2. China Petroleum Engineering & Construction Corporation Southwest Company, Chengdu 610000, China)

Abstract: Domestic electric drive compressor equipment is widely used in long-distance natural gas pipeline, the variable frequency drive system with megawatt power level is suitable for various working conditions of pipeline operation, but the low power factor caused to the power supply system is inevitable. Through the practical application case of a typical electric drive compressor station in a project, this paper analyze the structural characteristics and control strategies of different reactive power compensation schemes, discusses the adaptability and technical advantages of the two schemes, provides a complete solution for future engineering application.

Key words: reactive power generator; power quality; control strategy

0 引言

天然气长输管道压缩机组有电驱和燃驱两种类型, 电驱机组具备运行稳定、操作维护简单、效率高、故障少、建设及运维成本低、节能降耗和绿色环保等诸多优点, 特别是随着20 MW级国产化变频调速电驱机组的成功研制应用, 建设、运维成本的大幅降低, 电驱机组使用越来越

广泛。

电驱压气站存在机组装机容量大, 运行时功率因数高, 全站机组停运或小负荷运行时功率因数远低于标准要求, 会产生高额力调电费等供用电特点, 特别是支线、互联互通等季节性运行站场尤为突出。如何采用最经济方式, 保证站场机组停运等情况下的外电计量功率因数满足相关标

准要求，避免力调电费罚款，降低运行成本，是电驱压气站必须解决的问题。采用变频及电能治理装置（VSV）或SVG无功补偿装置，能够完美地解决上述问题。

1 电驱压气站的典型供用电特点

电驱机组是采用大功率高压变频器、电动机驱动压缩机，一般为多机组同站运行。电驱压气站一般采取110 kV双电源供电、站内建有110 kV/10 kV变电站，机组运行时用电量大，站场机组停运后用电量很小（一般为200 kW内），外电线路较长、供电部门侧计量。机组运行时功率因数高，在全站机组停运或小负荷运行时计量功率因数远低于国家标准要求等特点，此时必须进行无功补偿，提高功率因数，避免力调罚款。

以某典型电驱压气站为例：站内110 kV变电站、两条专用外电线路，单条长度60 km左右，两台 2×630 kV·A变压器，一用一备，电动机容量为18.5 MW的变频调速电驱机组4套，最大运行方式为三用一备，电费计量点设置在供电部门变电站出线间隔。机组PDS为电压源型高压变频调速装置驱动同步电动机，机组运行时计量功率因数高于0.92，满足要求。全站机组计费月内不运行时，外电线路无功损耗凸显，功率因数远低于国家相关标准要求，月力调电费罚款高达200万元左右。

2 电驱压气站的无功补偿方案

针对电驱压气站的供用电和运行特点，为使机组停运期间计费功率因数满足国家标准（至少0.9及以上），不产生力调电费罚款，需对外电架空线路产生的大量容性无功进行补偿。

补偿方案主要有：①设置静止无功发生器SVG，需要时投入，补偿外电线路的容性无功。②由于新建电驱压气站均采用国产电驱机组，利用国产变频器主要采用功率单元串联多电平电压源型变频器和SVG的技术特点，研究开发具有变频驱动（VSD）和无功补偿（SVG）功能的变频及电能治理装置（VSV），按需运行。

2.1 静止无功发生器SVG方案

静止无功发生器（Static Var Generator, SVG）的一次接线如图1所示。其基本原理是将自换相桥式电路通过电抗器并联在电网上，通过适当调节桥式电路交流侧输出电压的相位和幅值或控制其交流侧电流，使该电路吸收或者发出满足要求的无功电流，实现功率无功补偿，它可提供滞后/超前的无功功率。SVG技术成熟，国内生产厂家众多，长输管道工程的部分电驱压气站采用了SVG装置，全站机组停运后投入SVG能使计量功率因数达0.9以上。

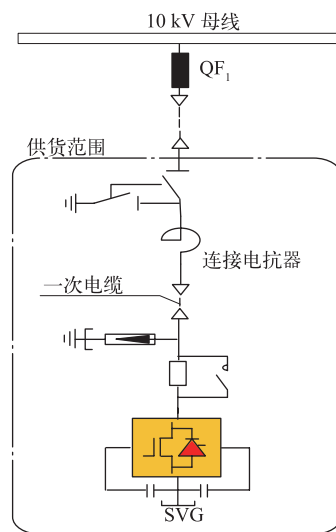


图1 SVG一次接线图

Fig. 1 SVG primary wiring diagram

2.2 变频及电能质量治理综合装置（VSV）方案

随着20 MW级国产化变频调速电驱机组的成功研制应用，天然气长输管道新建电驱压气站已基本采用国产电驱机组。国产变频器（Variable Speed Drive, VSD）主要采用功率单元串联式多电平电压源型变频器。基于以下原因，对国产变频器进行深化研究，成功研制了具有变频调速（VSD）和无功补偿（SVG）两种功能的变频及电能治理装置（简称VSV：VSD+SVG装置），根据需要灵活切换，该技术为国内首创。

2.2.1 VSV技术可行性

1) 国产变频器作为VSD运行时功率因数在

0.95以上, 无须单独进行无功补偿。全站机组停运后计入线路无功, 供电部门侧计量功率因数极低, 需进行无功补偿, 即VSD和SVG错开运行。

2) VSD和SVG均采用IGBT/IEGT功率开关元件, 拓扑结构基本相同, 可以通用。

3) VSD采用基于电动机磁链定向的矢量控制技术, SVG采用基于电网电压定向的矢量控制技术, 二者的基础控制控件通用, 仅是应用程序不同, VSV可使用一套硬件, 两套控制软件实现。

因此, VSV装置可将VSD、SVG两种功能根据需求灵活切换, 实现功率因数补偿和机组运行两种功能, 节约建设和运维成本。

2.2.2 VSV典型结构及功能切换模式

以低压励磁充电方式变频器为例, 如图2所示, 高压阻尼旁路电阻励磁方式相似。

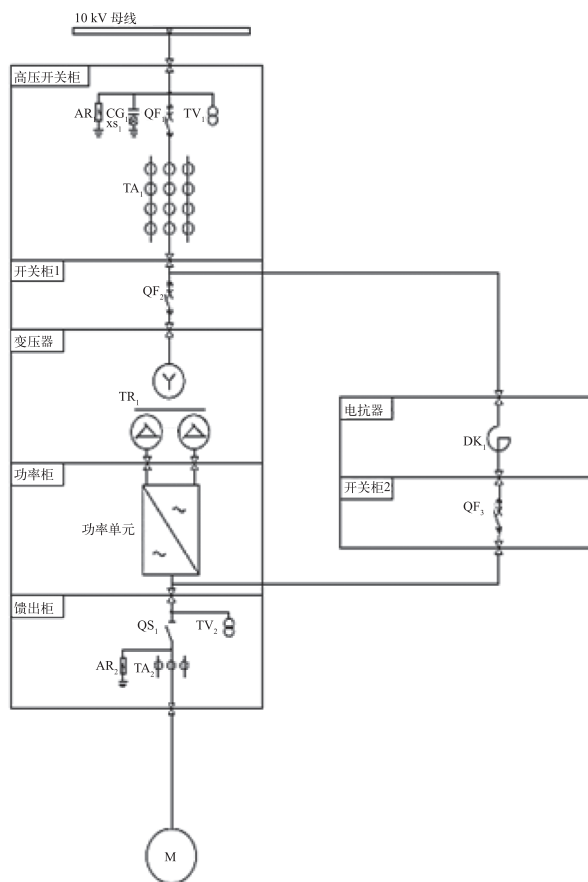


图2 低压励磁充电方式下的VSV装置单线图

Fig. 2 Single line diagram of VSV device under low voltage excitation charging mode

作为VSD使用时: 起机前合QF₂、QS₁, 分

开QF₃, 选VSD控制模式, 系统将按照VSD模式进行。

作为SVG使用时: 分开QF₂、QS₁, 合上QF₃, 选SVG控制模式。

起动流程: 水冷等辅助设备投入运行, 闭合QF₁, 在励磁充电系统完成对功率单元直流侧电容的充电后, 通过触发脉冲调节逆变器IGBT/IEGT功率器件, 滤波电抗器DK₁开始并网工作。同时根据检测到的电网参数, 控制系统自动计算, 调节逆变单元输出电压的相位和幅值, 也可直接控制其输出电流, 使该电路吸收或者发出满足要求的无功电流, 实现动态无功补偿的目的。

功率单元系统通过控制算法能够从交流系统吸收有功功率, 补偿内部损耗, 维持各单元电容电压的稳定, 以及自动平衡所有单元电容电压。

2.2.3 VSV控制系统策略

VSV作为VSD使用时, 控制与变频器完全一样, 在此仅介绍作为SVG使用时的控制策略。

SVG系统总体控制方案如图3所示。VSD和SVG两种控制模式由一个选择模块管理, 可通过人机界面(HMI)进行选择 and 设定各控制模式中的控制参数。有稳态无功和恒功率因数控制两种模式, 按需选择。

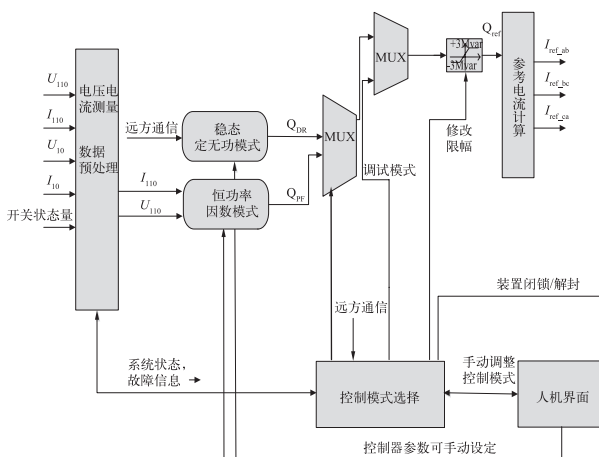


图3 SVG系统总体控制方案

Fig. 3 Overall control scheme of SVG system

(1) 稳态无功模式

根据设定的无功值保持SVG输出无功不变, 系统的电压变化时自动调节SVG输出电流的

大小,保证无功值恒定。

(2) 恒功率因数控制模式

根据公共接入点母线的有功功率和期望的功率因数,自动算出瞬时无功功率期望值,闭环调节输出无功功率,实现功率因数恒定控制,保证控制点保持在设定的功率因数运行,该方式需要采集110 kV侧三相电压、三相电流值。

2.2.4 VSV装置保护控制系统主要特点要求

VSV装置除具有VSD和SVG的功能要求外,还需满足:

1) VSD和SVG控制系统通用,即使用一套硬件、两套控制软件。

2) SVG控制应根据系统无功需求变化,通过调节触发脉冲自动调节装置无功输出,实现动态跟踪补偿。

3) SVG保护和监控需具有在VSV装置就地、压缩机组UCS监控、远程监控和“一键起机”功能,自动检测监控运行参数,满足无人值守要求。如一座压气站只设置一套VSV,应可实现两路110 kV电源选择性补偿功能。

4) SVG和VSD功能切换的相关闭锁控制和信号装置齐全完善,确保运行安全。

2.3 VSV和独立SVG方案主要优缺点比较

(1) VSV主要优点

1) VSV可有效避免同功能设备的重复投资和闲置。电驱压气站VSD和SVG不需要同时运行,VSV装置完全满足需要。单独设置SVG装置,将增大建设及运维成本,在机组运行时造成闲置。

2) VSV装置在VSD基础上增加电抗器、切换开关和相应控制软件等就可完全实现SVG功能,结构简单,运行维护方便。

3) VSV有利于解决变频器在冬季停运后的防冻等技术难题。大功率变频器采用去离子水循环冷却方式,在冬季停运后的冷却水系统防冻、电力电子元器件的防潮处理一直是运行维护的难点和风险点。在全站机组停运后,VSV改做SVG运行,冷却循环水系统需小负荷投入运行,可有

效解决冷却水系统防冻及VSV的防潮防冻问题,益于设备的安全和延长使用寿命。

(2) VSV主要缺点

对天然气长输管道电驱压气站而言,VSV作为SVG运行时,与单独的SVG装置相比,也具有如下缺点:

1) 一般说来,天然气长输管道电驱单台机组变频器容量均较大,干线一般在15~20 MW之间,支线在7~12 MW之间,SVG所需补偿容量与外电路长度、线径等有关,一般为3~6 MW,作为SVG使用时,功率元件存在“大马拉小车”现象,损耗会高于单独的SVG。

2) 大功率VSV装置一般采用水冷方案,作为SVG时仍需启动外部循环水和VSV去离子水冷却系统,单独的SVG功率较小,可采用强制通风冷却方案,因水冷系统运行产生的能耗可能会高于强制通风冷却。

3 VSV的实用案例

VSV技术成功开发后,某压气站的一套国产变频器进行了增加SVG功能的改造,使用效果好,完全满足要求。现已在新建的天然气管道电驱压气站项目中获得推广应用。下表为两座电驱压气站采用VSV的使用情况。

表 VSV 的使用情况

Tab. VSV usage

外电路规格型号	JL/LB1A-240/30		JL/LB1A-240/30	
外电路长度/km	51	28.6	31.4	40.13
变压器容量/MV·A	50	50		
单台 VSD 功率/MV·A	18		23	
机组台数	4		3	
机组运行时功率因数	0.95		0.95	
全站机组停运后功率因数	0.126	0.57	0.02	0.02
VSV 的 SVG 补偿后功率因数	0.93	0.964	0.91	0.92

通过使用证明,完全能够满足电驱压气站外电无功补偿需求,避免了力调电费罚款,有时还能获得供电部门的节能奖励。

4 方案选择及设计基本原则探讨

4.1 通过经济技术比选确定VSV或单独SVG方案

1) 一般来说, 电费计量点在供电部门侧且线路较长(如10 km以上)时, 应设置线路无功补偿装置。VSV和单独的SVG选择原则为: 在根据外电线路长度、线径等确定补偿容量的基础上, 应根据变频器容量大小, VSV用于SVG时水循环系统、柜顶风机等运行负荷, 电力电子等设备效率, 独立SVG的空气冷却风机能耗及设备效率、建设一次投资和维护成本等进行综合技术经济比较, 择优选择。具体如下: ①如无功补偿容量较大、干线压气站全站停运时间少和较少投用SVG的站场, 可优先选用VSV; ②对调峰运行的支线、季节性运行的互联互通管道电驱压气站, 机组装机容量一般较小, 机组利用率低, 需要设置无功补偿装置, 这类站场补偿容量一般较小(如5 Mvar及以下), 应重点对运行能耗等技术经济对比后进行综合比选, 选择单独的SVG更为合理; ③对外电线路较短、所需无功补偿容量较小的, 可不补偿或采用独立SVG补偿为宜。

2) 电费计量点在压气站侧, 如供电部门无特殊要求, 可不设置SVG。

3) 电费计量点虽在供电部门侧, 但外电线路不长或机组基本不会全站停运较长时间(如干线机组), 或通过运行调整能保证该站机组的运行时间满足一个计费月内计费功率因数要求, 应综合考虑是否需要设置无功补偿装置, 如确需设置, 建议优选VSV。

4) 对干线压气站, 机组运行利用率高, 如无特殊情况, 每站均有机组运行; 如计费功率因数低, 调控中心应优化运行方式, 保证每站机组在计费月内运行一段时间, 确保计费功率因数达到计费要求, 避免力调电费罚款。因此, 干线压气站是否设置VSV应综合考虑, 如确需设置, 建议优选VSV。

4.2 VSV设置数量选择

电驱压气站为双回路专用电源, 两台变压器, 110 kV为单母线分段或内桥接线, 10 kV为单母线接线方式, 机组为2~4台或更多。如外电

线路采用冷备用方式, 为节约投资, 全站可选用一台VSV装置, 两条线路按需切换补偿, 其余采用VSD; 如两条外电线路、两台变压器长期带电, 应设置两套VSV, 分别在10 kV I、II段母线上进行补偿。

4.3 VSV装置VSD与SVG功能切换的安全保障要求

1) VSV装置的SVG和VSD功能切换应有可靠的电气闭锁保护, 电抗器和电动机的切换宜有明确的断开点, 如选用三工位隔离开关等。

2) VSV装置的SVG和VSD功能除可在变频器本体操作显示界面上进行切换控制操作外, 还应在压缩机监控系统联锁和HMI界面操作显示, 能实现远程切换控制。

4.4 补偿量调试

可自动补偿, 也可手动补偿。由于VSV电流取样点在压气站10 kV侧, 不在供电部门计量端, 无法实现恒功率因数控制模式。但由于外电线路、变压器等的技术参数确定不变, 因此调试时可通过理论计算外电线路等需要补偿的容量, 在调试中采用稳态无功模式, 利用自动补偿功能对站内设备等进行自动补偿, 调试中应与供电部门沟通, 确认功率因数达到要求后设定基本补偿量方式。

4.5 VSV中SVG的节能措施

由于大功率变频器均采用循环水冷却和柜顶风机强排冷却方式, 导致在SVG使用方式下, 必须仍采用上述两种方式冷却, 新增电抗器一般是强排通风冷却, 对容量较大的建议采用去离子水循环冷却方式。但由于VSD方式小输入量大, SVG方式小输入量较小, 冷却系统应充分考虑两种运行方式下冷却量差距巨大的特点, 对方案进行优化。

1) 电动机、变频器采用集中风冷或风冷+制冷机组方案, 优点是节约工程建设投资、不需要喷淋水及水处理设施, 也不存在排污问题, 维护工作量小, 运行维护管理简单。该方案是电驱机组优选冷却方案, 也是发展趋势。但对VSV装置而言, 由于VSD和SVG功能需要的冷却量差距

巨大，此方案运行经济性较差，建议不采用，如采用则循环泵需采用变频调速或单独设置小功率循环泵，风扇分组控制，供SVG投运时使用。

2) 电动机、变频器分别独立采用风冷或风冷+制冷机组方案，该方案变频器可以利用一次去离子水冷却，提高换热效率，但由于设备多，增大站场的运行维护管理工作量。对VSV装置而言，使用该方案节能经济性好，但循环泵应用变频调速或单独装一个小功率循环泵，风扇分组控制。

3) 电动机、变频器采用集中凉水塔喷淋冷却的循环水冷却方案。该方案需要喷淋水及水处理设施，盘管易结垢，冬季喷淋水易在塔体结冰，冷却效果较差，喷淋水排污费用较高，经常清洗，清洗维护工作量大，运行维护管理量大，新建机组已基本不采用该方案。采用该方案时，由于机组运行时冷却量大，循环泵电动机功率大，单台均在50 kW左右，如使用VSV需要冷却量小，必须考虑经济节能运行方案，采用变频调速循环泵、凉水塔冷却风扇分组控制；按需调整。

5 结束语

变频及电能治理装置（VSV）集变频器和

无功补偿功能于一体，应用在天然气管线电驱压气站，有利于减少建设用地，降低建设、运行维护成本，有利于冬季停运变频器的防冻，保证设备安全等诸多优点。但由于VSD和SVG容量差距大，必须考虑在SVG运行工况下的能耗问题。采用独立SVG或者VSV，应在工程建设成本、运行维护成本、能耗和运行维护管理等方面进行技术经济比选，同时在循环水冷却系统、变频器室内通风散热等方案上进行节能优化。VSV的成功研制应用，为电驱压气站的无功补偿提供了一种新的解决方案，在国家管网西气东输天然气长输管道、互联互通、陕京四线和中俄东线等项目及其他行业中得到了推广应用。通过使用证明，完全能够满足电驱压气站外电无功补偿需求，应用前景十分广阔。**EA**

作者简介



吕开钧

吕开钧（1970—），男，高级工程师，主要从事电气技术，高压大功率变频调速电驱压缩机技术及管理工作的。

（收稿日期：2021-05-15）