

[变频器]

进口六相电动机三电平变频器的国产化替代方案研究

文/国家管网集团川气东送天然气管道有限公司 李祎璞 邱建兴 王子龙 冯玉

主要介绍了使用新一代国产大功率高压变频器替换现有驱动六相电动机用的进口三电平高压变频器的可行性及具体方案，并介绍了新一代国产大功率高压变频器的技术原理和特点。

川气东送天然气输送管道工程部分压气站早期采用的是进口电驱压缩机组，电动机为双绕组电动机，变频器采用的是 SIEMENS GM150。由于建设时间较早，该部分机组已使用多年，随着元器件老化等导致故障逐年升高，单靠更换备件已无法保证机组的长期稳定运行，影响公司的生产效率。

国产大功率高压变频器在长输管线项目的研制应用自 2009 年开始，目前已实现量产，并且各个厂家的技术水平也在不断的升级换代，在长输管线、油气田、大型空分、冶金高炉和航空军工等多个领域成功运行数百套业绩，特别是在新建的电驱压气站基本均采用国产的高压变频器作为驱动装置，经过数年的现场运行验证表明，国产高压变频器在技术性能上完全可以满足电驱压气站的应用要求，部分技术指标优于进口机组，且在建设、运行维护成本和备品备件、售后服务等方面有着巨大的优势。

国产高压 VSI 高压变频替换方案研究

1. 概述

本文基于进口六相电动机三电平变频器的国产

化替换的可行性及具体替换方案进行研究，为川气东送等采用类似进口机组的高压变频器维护改造提供技术储备。

下面以川气东送某压气站进口电驱压缩机组采用的 GM150 高压变频器为例，进行国产 VSI 高压变频器替换方案的研究。

2. 川气东送某压气站压缩机组信息

(1) 电动机参数 (见表 1)

表 1 电动机参数

序号	项 目	电动机参数
1	电动机功率/kW	7 200
2	额定转速/(r/min)	1 500
3	频率范围/Hz	50
4	额定电压/V	2×4 160
5	额定电流/A	2×574
6	额定转矩/N·m	45 840
7	转动惯量/kg·m ²	325
8	功率因数 cosφ	0.89
9	效率(%)	97.8
10	极数	4
11	相数	6
12	电动机类型	异步电动机

(2) GM150 高压变频器主要技术参数 (见表 2)

表 2 变频器参数

序号	项目	参数
变频器参数		
1	型号	SINAMICS GM150 系列
2	布置方式	室内
3	输入电压/V	4×2 200
4	输入电流/A	614
5	输出电压/V	2×4 160
6	输出电流/A	600
7	输入频率/Hz	50/60
8	输出频率/Hz	0~150
9	额定容量/kV·A	8 700
10	额定效率(%)	98.41
11	整流脉冲	24 脉冲
12	冷却方式	功率单元水冷
变压器参数		
1	布置方式	室外
2	变压器容量/kVA	8 700
3	结构组成	五绕组变压器,高压侧单绕组,二次侧四绕组
4	一次电压/V	10 000
5	一次电流/A	502
6	二次电压/V	4×2 200
7	二次电流/A	4×571
8	脉冲	24
9	冷却方式	油浸自冷(ONAN)

(3) 现有 GM150 高压变频器方案

某压气站西门子 GM150 高压变频器的一次系统共三套变频装置,两段母线进线,每段母线各配一套滤波装置。室外油浸式移相变压器采用五绕组 24 脉配置,电动机为双绕组异步电动机。由于变频装置(下文中称为 3[#]变频装置)所处的同一段进线母线下有 1 台 ABB 36 脉冲变频器,网侧配置的滤波装置单独为 3[#]变频装置所设,所以本次国产化变频器替换研究将 3[#]变频装置作为研究对象。由于改造后的国产变频设备为 36 脉冲整流,网侧无须配置滤波装置,即 3[#]变频装置母线侧的滤波装置可以取消。

(4) 现有 GM150 高压变频器现场布置

现有的西门子 GM150 高压变频装置的变频器室内布置、油浸整流变电站室外布置,共三套。每套变频装置主要由油浸式移相变压器、高压预充电柜、网侧滤波柜和 24 脉冲水冷变频器(含进线+整流柜、逆变柜、控制柜、输出+输出滤波柜和水冷

柜)等主要部件及其他附件等。

3 国产 VSI 变频器替换配置

(1) 国产 VSI 变频器主要技术参数

根据现场原有的电动机参数,配套的国产 VSI 高压变频器基本参数见表 3。

表 3 国产高压变频器技术参数

序号	项目	国产 VSI 高压变频器
变频器参数		
1	系统输入电压/kV	10
2	变频输出电压/V	2×4 160
3	变频额定电流/A	2×660
4	调频范围/Hz	0~120(可调)
5	变压器容量/kV·A	8 600
6	整流脉冲	36 脉冲
7	冷却方式	变压器油浸自冷,功率单元水冷
8	输入滤波器	不需要
变压器参数		
1	布置方式	室外
2	变压器容量/kV·A	8 600
3	结构组成	多绕组变压器,高压侧单绕组,二次侧 12 绕组
4	一次电压/V	10 000
5	一次电流/A	496.5
6	二次电压/V	12×1 350
7	二次电流/A	12×306
8	脉冲	36
9	冷却方式	油浸自冷(ONAN)

(2) 国产 VSI 变频器一次方案

图 1 为采用国产 VSI 高压变频器改造替换的一次系统图,主要包括进线柜、预充电柜、36 脉冲整流变压器、功率单元柜、水冷柜、控制及输出柜、电动机(利旧)和柜间电缆等。

通过现有 GM150 高压变频器方案和国产 VSI 变频器一次方案中两种方案的一次系统图可以看出,国产 VSI 高压变频器和进口高压变频器均满足拖动负载六相同步电动机的要求,国产 VSI 高压变频器在电气系统配置方面完全可以替代进口高压变频器,同时国产 VSI 高压变频器采用 36 脉冲移相整流变压器,对网侧产生的谐波完全满足国标要求,不需要配置输入滤波装置。

(3) 国产 VSI 变频器系统布置

图 2 为国产 VSI 高压变频器在现场原有的 3[#]变频器位置上布置的示意图,主要包括预充电柜布置、油浸整流变电站和变频装置的布置图。

通过 GM150 24 脉冲高压变频器布置图和国产

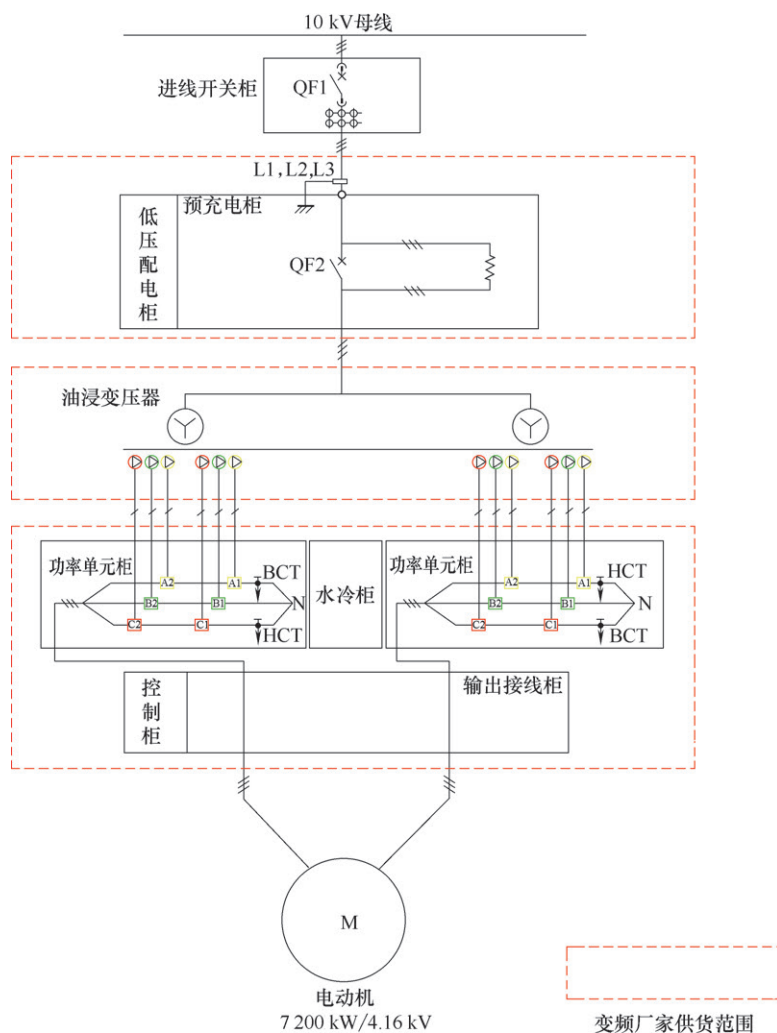


图 1 国产 VSI 高压变频器一次系统图

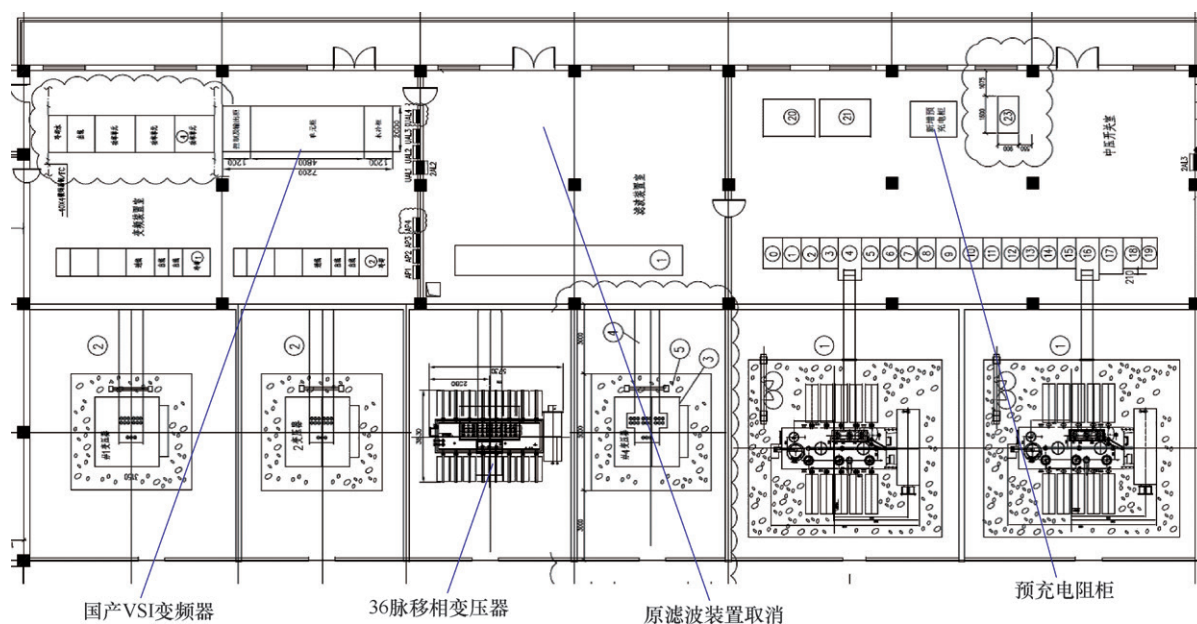


图 2 国产替换变频装置布置图

替换变频装置布置图前后两种方案的布置图可以看出, 国产 VSI 高压变频器完全可以根据现场现有的布置空间进行改造, 同时原有进口变频的输入滤波装置的空间可以全部空闲出来。

国产 VSI 高压变频器技术特点

NC HVVF 是上海能传电气有限公司推出的具有完全自主知识产权的新一代高压变频器, 具有六相电动机的专用控制技术、电动机参数自测定、在线辨识功能和低电压穿越技术等, 下面介绍装置针对本项目改造的主要技术特点。

1. 国产 VSI 高压变频器六相电动机的控制技术

NC HVVF 高压变频器包含两套功率单元柜及对应的控制系统, 分别驱动六相电动机的两套绕组。其中一套作为主机, 具有转速环、磁通环以及电流环; 另一套作为从机, 只有电流环。主机的磁通环和转速环的输出通过光纤通信传递给从机, 作为其电流环的给定。两套功率单元柜的电流环输出经过旋转变换后得到各自的参考电压波形, 经过 PWM 调制后为各自连接的绕组供电。主从机旋转变换需要的磁通角度由各自的锁相环得到。相当于把每一套绕组等效为一套独立的三相电动机, 对于空间相位一致或差 30° 的六相电动机可以自适应, 无须特殊处理。

从机故障时, 主机可以继续运行而不需要特别处理。主机故障时, 从机自身的转速环和磁通环快速切入, 从机也可以单独运行, 具有一定的冗余功能, 提高了稳定性。

2. 电动机参数自测定和在线辨识功能

本次国产变频器替换研究所使用的变频装置具有兼容驱动多类型电动机及多类型压缩机多种工况的试验需求, 具有电动机参数自测定及在线辨识功能, 且操作方便, 适合现场操作人员操作。

电动机运行过程中, 电动机的定子电阻随着温度的变化而变化, 电动机电感随着电流的变化而变化; 然而, 离线辨识的电动机模型参数在运行过程中是不变的, 从而导致电动机运行过程中电动机模型出现偏差, 影响矢量控制的性能。

NC HVVF 高压变频器控制系统中增加了电动机参数在线校正功能, 为避免上述问题, 采用了改

进的基于 MRAS 的定子电阻在线辨识技术, 原理框图如图 3 所示。

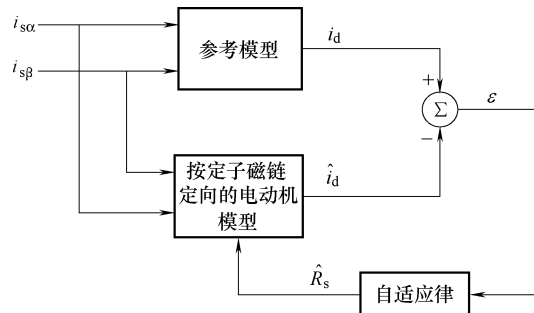


图 3 定子电阻自校正的原理框图

如图 4 所示, 为模拟电子电阻较快速变化过程中电动机的运行波形, 从上至下分别为电动机定子电流、转速指令 (蓝色)、实际转速 (红色)、电磁转矩 (红色)、负载转矩 (蓝色) 和电缆等效阻抗。由图 4 可见, 电阻的变化基本上对电动机的运行性能没有影响。

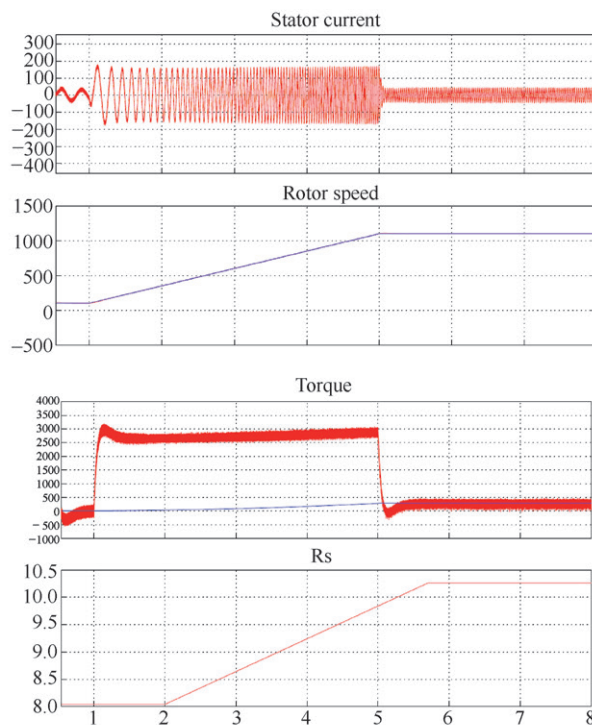


图 4 模拟电子电阻较快速变化过程中电动机的运行波形

3. 低电压穿越保护技术

本项目配套的 NC HVVF 系列高压变频器在 -10% ~ +10% 额定电压波动范围内能满载输出; 在 -10% ~ -40% 电网电压跌落时变频器维持降额运

(下转第 68 页)

融信 NGFW4000-UF 型号防火墙进行了安全区边界设置,借助防火墙的形式,从逻辑角度实现对于数据非法访问的有效限制,并在安全 1 区和 2 区之中建立高效的数据传输机制。针对 1 区和 3 区的边界地带,可以通过横向隔离设置的方式予以限制,其安全性能远高于防火墙。此外,要求在 3 区和办公业务之间构建防火墙,借助 ACL 访问控制列表技术,实现对于无关地址数据访问情况的有效控制,让白名单之中的各类业务系统得以高效访问特定的网络地址。

通过调度数据网接入的形式,可以免受客观条件的束缚,让光缆得以自由进场,同时,借助无线通信网络的形式进行数据上传,并结合安全防护的有关要求设定具体的安全接入区,让数据得以自由传输,以规避由无线网络所引起的各类安全隐患。

针对各类安全防护关键技术予以深化分析之后,衡水公司做出了深度整改,并取得了一定成果,让各类软硬件设备在调度自动化主站系统之中

实现了广泛运用,表现出十分突出的安全防护效果。这一经验十分可靠,可以结合相应位置的互联业务情况实施自由设置,以更好适应安全防护的需求,需要针对这一经验予以深入推广。

结束语

对于我国电网领域而言,智能化电网建设是其发展的重要方向,也是其技术发展的核心。基于调度控制系统和网络架构等多个角度予以分析,发现电网数据和运行成本问题都是技术创新及优化中的重要环节。此外,我国智能电网调度控制系统的未来发展方向普遍集中于多时段多级短期电力市场技术、自描述动态解析技术及可信计算与安全免疫技术成果发展之中。要求以建立对于智能化电网调度控制系统现状的深刻认知为前提,切实推动这一新型技术的发展。**EA**

(收稿日期:2021.06.30)

(上接 60 页)

行、不停机;在电网电压跌落大于-40%,甚至完全失电时,采用动能缓冲低电压穿越(LVRT)技术,变频器继续运行,无须封脉冲,尤其适用于风机、压缩机等转动惯量大的负载。

低电压穿越功能原理框图如图 5 所示。每个功率单元的母线电压通过光纤上传至主控系统;功率单元电压低于某一限值时,LVRT 功能激活,限制

转矩输出值;通过转矩输出限值,使得转速环饱和,进入动能缓冲模式,维持功率单元母线电压;电网恢复,母线电压恢复至设置值后,LVRT 功能退出,转速环退饱和,正常调速,实现了低电压穿越功能。

结束语

通过国产 VSI 高压变频器替换进口 GM150 高压变频器驱动六相电动机的技术可行性研究,为后续类似进口机组的更新改造提供了技术储备和方案支持,方案实施后可以提高机组运行可靠性,降低运行维护费用和备件储备费用等。**EA**

(收稿日期:2021.05.18)

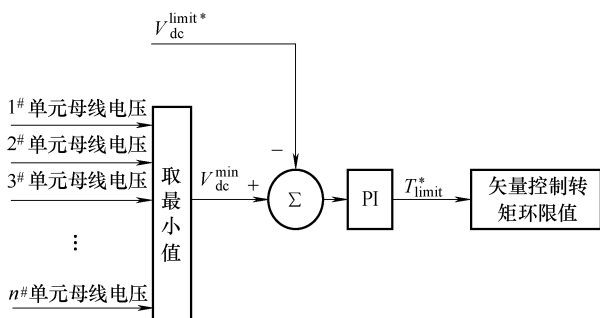


图 5 低电压穿越功能原理框图