

# 油气管道高压变频器谐波抑制方法研究

刘 凯 (国家石油天然气管网集团有限公司西北分公司生产技术服务中心, 陕西 西安 710000)

郭文强 (国家管网集团北方管道有限责任公司郑州维抢修分公司, 河南 郑州 451192)

**摘 要:** 随着国家管网建设规模的不断扩大, 油气管道输送系统的自动化和高效化程度日益提升。高压变频器在油气管道中的广泛应用, 虽显著提高了系统运行效率, 但也带来了严重的谐波问题。本文深入分析了油气管道中高压变频器产生谐波的原因及危害, 结合国家管网实际情况, 探讨了多种谐波抑制方法, 并对其优缺点及适用性进行了详细比较, 旨在为国家管网油气管道系统的稳定、可靠运行提供有效的谐波抑制解决方案。

**关键词:** 油气管道; 高压变频器; 谐波抑制; 方法研究

**中图分类号:** TM46 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2025) 013-0080-03

## Research on Harmonic Suppression Method of High Voltage Inverter for Oil and Gas Pipeline

Liu Kai (Production Technology Service Center of Northwest Branch of National Petroleum and Natural Gas Pipeline Network Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi 710000, China)

Guo Wenqiang (Zhengzhou Maintenance and Repair Branch of National Pipeline Network Group North Pipeline Co., Ltd., Zhengzhou Henan 451192, China)

**Abstract:** With the continuous expansion of the national pipeline construction scale, the automation and efficiency of oil and gas pipeline transportation systems are increasingly improving. The widespread application of high-voltage frequency converters in oil and gas pipelines has significantly improved system operating efficiency, but it has also brought serious harmonic problems. This article deeply analyzes the causes and hazards of harmonics generated by high-voltage frequency converters in oil and gas pipelines. Combining with the actual situation of the national pipeline network, various harmonic suppression methods are discussed, and their advantages, disadvantages, and applicability are compared in detail. The aim is to provide effective harmonic suppression solutions for the stable and reliable operation of the national pipeline network oil and gas pipeline system.

**Keywords:** oil and gas pipelines; High voltage frequency converter; Harmonic suppression; method study

国家管网作为我国能源输送的大动脉, 承担着保障油气资源安全、稳定供应的重要使命。在油气管道输送过程中, 为了实现对泵、压缩机等设备的精确调速控制, 提高能源利用效率, 高压变频器得到了越来越广泛的应用。然而, 高压变频器在运行过程中会产生大量谐波, 这些谐波不仅会影响自身设备的正常运行, 还会对整个油气管道系统及周边电力设备造成诸多不利影响。因此, 研究有效的谐波抑制方法对于保障国家管网油气管道系统的安全、高效运行具有重要的现实意义。

### 1 油气管道中高压变频器谐波产生的原因

#### 1.1 电力电子器件的开关特性

高压变频器主要由电力电子器件组成, 如晶闸管、绝缘栅双极型晶体管 (IGBT) 等。这些器件在工作时通过快速的开关动作来实现电能的变换和控制。由于其开关过程是非线性的, 会导致电流和电压波形发生畸变, 从而产生谐波。例如, 在晶闸管的导通和关断瞬间, 电流会发生突变, 形成尖峰电流, 这些尖峰电流包含了丰富的谐波成分<sup>[1]</sup>。

#### 1.2 脉宽调制 (PWM) 技术的影响

现代高压变频器普遍采用 PWM 技术来实现对输出电压和频率的调节。PWM 技术通过控制电力电子器件的导通和关断时间, 将直流电压斩波成一系列宽度不同的脉冲电压。虽然 PWM 技术能够有效地提高变频器的性能, 但也会引入谐波。PWM 波形中的谐波主要集中在载波频率及其整数倍频率附近, 其幅值和分布与调制比、载波比等参数密切相关。

#### 1.3 负载特性的影响

油气管道中的泵、压缩机等负载具有一定的电感和电容特性, 它们与高压变频器组成的系统是一个复杂的电气网络。当高压变频器输出的谐波电流流经负载时, 由于负载的阻抗特性, 会使谐波电流进一步发生畸变, 并且可能引发谐振现象, 导致谐波放大, 从而加剧了系统的谐波问题。

### 2 谐波对国家管网油气管道系统的危害

#### 2.1 影响设备寿命

谐波电流会在设备的绕组中产生额外的焦耳热损

耗,使设备温度升高。长期处于高温环境下,设备的绝缘材料会加速老化,降低绝缘性能,从而缩短设备的使用寿命。例如,对于油气管道中的泵和压缩机电机,谐波引起的过热可能导致电机绕组烧毁,影响油气输送的连续性。

## 2.2 降低系统功率因数

谐波电流会增加系统的无功功率,导致功率因数降低。这不仅会使电力系统的传输效率下降,增加输电线路的损耗,还可能导致供电部门对企业进行罚款。在国家管网的油气管道系统中,大量高压变频器的使用如果不加以有效控制谐波,将对整个系统的功率因数产生显著影响,增加运行成本。

## 2.3 干扰通信系统

谐波电流会在输电线路周围产生交变磁场,该磁场可能会对附近的通信线路产生电磁感应,从而干扰通信信号的正常传输。在国家管网的运营中,通信系统对于保障管道的安全监控、远程控制等起着至关重要的作用。谐波干扰可能导致通信中断、信号失真等问题,影响管道的安全运行和管理效率。

## 2.4 引发继电保护装置误动作

谐波会使电力系统的电压和电流波形发生畸变,可能导致继电保护装置的测量元件误判,从而引发继电保护装置的误动作。在油气管道系统中,继电保护装置是保障系统安全运行的重要防线。一旦继电保护装置误动作,可能会导致不必要的停电事故,影响油气输送的正常进行,甚至可能引发严重的安全事故。

# 3 国家管网油气管道高压变频器谐波抑制方法

## 3.1 增加整流电路的脉冲数

①原理:通过增加高压变频器整流电路的脉冲数,可以有效减少谐波的含量。例如,将传统的6脉冲整流电路升级为12脉冲、36脉冲甚至更高脉冲数的整流电路。多脉冲整流电路利用变压器的不同绕组连接方式,使输入电流的波形更加接近正弦波,从而降低谐波的幅值。②在国家管网中的应用:在国家管网的一些大型油气输送站场,对于功率较大的高压变频器,采用了12脉冲或36脉冲整流电路。通过这种方式,有效地降低了谐波对站内其他设备的影响,提高了系统的稳定性。例如,某重要油气管道枢纽站场的高压变频压缩机,采用36脉冲整流电路后,谐波含量明显降低,周围设备的运行故障率显著减少<sup>[2]</sup>。③优缺点:优点是该方法相对简单,不需要额外增加复杂的滤波装置,对原有系统的改动较小,且能在一定程度上有效抑制谐波。缺点是随着脉冲数的增加,变压器的结构变得更加复杂,成本也相应提高,并且对于高次谐波的抑制效果有限。

## 3.2 安装谐波滤波器

①原理:无源滤波器由电容器、电感器和电阻器组成,通过对特定频率的谐波进行调谐,使其呈现低阻抗,从而将谐波电流旁路到滤波器中,减少流入电网的谐波电流。例如,LC串联谐振滤波器可以对特定频率的谐波进行滤波,而高通滤波器则可以对高于某一频率的谐波进行抑制。②在国家管网中的应用:在国家管网的部分油气管道沿线,针对一些产生谐波较为严重的高压变频器,安装了无源滤波器。这些滤波器根据现场的谐波频谱特性进行设计和调试,有效地降低了谐波对电网的污染。例如,在某段油气管道的泵站中,安装了针对5次、7次谐波的无源滤波器,使该泵站的谐波含量满足了国家标准要求。③优缺点:优点是结构简单、成本较低、运行可靠性高。缺点是其滤波效果受电网阻抗和负载变化的影响较大,容易发生谐振,并且只能针对特定频率的谐波进行滤波,对其他频率的谐波效果不佳。

## 3.3 有源滤波器

①原理:有源滤波器通过检测电路实时检测电网中的谐波电流,然后利用电力电子器件产生一个与谐波电流大小相等、方向相反的补偿电流,将谐波电流抵消,从而实现谐波抑制。有源滤波器具有动态响应速度快、滤波效果好等优点。②在国家管网中的应用:在一些对谐波抑制要求较高的国家管网关键节点,如大型储气库的压缩机站等,采用了有源滤波器。有源滤波器能够根据电网谐波的变化实时调整补偿电流,有效地保障了站内设备的稳定运行。例如,某大型储气库的高压变频压缩机组安装有源滤波器后,谐波得到了很好的抑制,设备运行更加平稳,提高了储气库的运营效率。③优缺点:优点是滤波效果好,能够对各种频率的谐波进行有效抑制,且不受电网阻抗和负载变化的影响,动态响应速度快。缺点是成本较高,技术复杂,对维护人员的要求较高。

## 3.4 采用新型调制技术

①原理:多电平调制技术通过将直流电压分成多个电平,使输出电压的波形更加接近正弦波,从而减少谐波的产生。常见的多电平调制方式有二极管箝位型、飞跨电容型和级联型等。与传统的两电平PWM调制相比,多电平调制技术可以显著降低谐波含量。②在国家管网中的应用前景:随着国家管网对油气输送系统高效化和低谐波化要求的不断提高,多电平调制技术在高压变频器中的应用前景广阔。目前,一些科研机构和企业正在开展相关的研究和试点应用工作。例如,在某新型油气管道输送设备的研发中,采用了级联型多电平高压变频器,初步测试结果显示其



谐波抑制效果良好，有望在未来国家管网的大规模应用中推广。③优缺点：优点是输出电压波形质量高，谐波含量低，可有效降低对电网和设备的影响。缺点是电路结构复杂，需要更多的电力电子器件和控制电路，成本较高，且控制算法相对复杂。

### 3.5 随机 PWM 调制技术

①原理：随机 PWM 调制技术通过随机改变载波频率或调制比，使谐波的频率分布更加分散，降低了特定频率谐波的幅值，从而减少谐波对系统的危害。与传统的固定载波频率 PWM 调制相比，随机 PWM 调制可以有效避免谐波在某些特定频率上的集中，降低谐波共振的风险。②实际应用情况：在部分油气管道系统中，已经开始尝试应用随机 PWM 调制技术。通过对高压变频器的控制算法进行改进，实现了随机 PWM 调制。实际运行结果表明，采用该技术后，系统的谐波频谱得到了有效改善，降低了谐波对设备的影响。例如，某段油气管道的变频泵采用随机 PWM 调制技术后，电机的振动和噪声明显减小，设备运行更加稳定。③优缺点：优点是能够有效分散谐波频率，降低谐波共振的风险，且对原有系统的硬件改动较小，主要通过软件算法实现。缺点是会增加系统的开关损耗，且由于谐波频率的随机性，对谐波检测和分析带来一定困难。

## 4 谐波抑制方法的比较与选择

不同的谐波抑制方法各有优缺点，在国家管网油气管道系统中应用时，需要根据具体情况进行综合比较和选择。表 1 对上述几种谐波抑制方法进行了详细比较。

在实际选择谐波抑制方法时，需要考虑以下因素：

①谐波污染程度：根据现场测量的谐波含量和频谱特性，评估谐波对系统的危害程度，从而选择合适的抑制方法。如果谐波污染严重，可能需要采用有源滤波器或多电平调制技术等效果较好的方法。②成本因素：不同的谐波抑制方法成本差异较大。在满足谐波抑制要求的前提下，应综合考虑设备采购成本、安装调试成本和后期维护成本等。对于一些预算有限的项目，

无源滤波器或增加整流电路脉冲数等成本较低的方法可能更为合适。③设备运行环境：油气管道沿线的运行环境复杂多样，如温度、湿度、电磁干扰等。在选择谐波抑制方法时，需要考虑其对运行环境的适应性。例如，有源滤波器对电磁干扰较为敏感，在电磁环境复杂的区域应用时需要采取额外的防护措施。④系统可靠性要求：国家管网油气管道系统的可靠性至关重要。一些谐波抑制方法可能会对系统的可靠性产生一定影响，如无源滤波器容易发生谐振。在可靠性要求极高的场景下，应优先选择可靠性高的谐波抑制方法，如增加整流电路脉冲数或采用成熟可靠的有源滤波器产品。

## 5 结论

随着国家管网建设的不断推进，高压变频器在油气管道系统中的应用越来越广泛，谐波问题也日益突出。谐波对油气管道系统的设备寿命、功率因数、通信系统和继电保护装置等都产生了严重的危害。为了解决这些问题，本文详细研究了多种谐波抑制方法，包括增加整流电路脉冲数、安装谐波滤波器（无源滤波器和有源滤波器）以及采用新型调制技术（多电平调制技术和随机 PWM 调制技术）等，并对它们的原理、在国家管网中的应用情况、优缺点及适用场景进行了全面的分析和比较。

在实际工程应用中，应根据油气管道系统的具体特点和需求，综合考虑谐波污染程度、成本、设备运行环境和系统可靠性要求等因素，选择合适的谐波抑制方法。

未来，随着智能电网技术、电力电子技术和控制技术的不断发展，相信会有更加先进、高效、经济的谐波抑制方法应用于国家管网油气管道系统，为我国能源行业的可持续发展做出更大的贡献。

### 参考文献：

- [1] 刘前. 电流注入型 18 脉波三角—多边形自耦变压整流系统的研究 [D]. 兰州：兰州交通大学,2017.
- [2] 卜甲甲. 光伏并网电流的谐波检测与抑制技术研究 [D]. 西安：西安理工大学,2016.

表 1

谐波抑制方法	优点	缺点	适用场景
增加整流电路脉冲数	简单，对系统改动小，能一定程度抑制谐波	变压器结构复杂，成本高，对高次谐波抑制有限	对谐波要求不是极高，功率较大的高压变频器应用场景，如大型油气输送站场
无源滤波器	结构简单，成本低，运行可靠	滤波效果受电网和负载影响大，易谐振，只能针对特定频率滤波	谐波频谱相对固定，对成本敏感，对滤波效果要求不是特别高的油气管道泵站等场景
有源滤波器	滤波效果好，不受电网和负载影响，动态响应快	成本高，技术复杂，维护要求高	对谐波抑制要求极高，如大型储气库压缩机站等关键节点
多电平调制技术	输出电压波形好，谐波含量低	电路结构复杂，成本高，控制算法复杂	对谐波抑制和设备性能要求都很高的新型油气管道输送设备研发和应用场景
随机 PWM 调制技术	分散谐波频率，降低谐波共振风险，硬件改动小	增加开关损耗，谐波检测分析困难	对谐波频率分布有要求，对开关损耗不太敏感的油气管道变频设备运行场景