

多电平变频器远距离供电系统的电压质量改善

文/中海油研究总院有限责任公司 郭 宏 平朝春
西安西电电气研究院有限责任公司 李 劭 宁大龙 李锐鹏

远距离变频供电系统

1. 供电方案

在海洋油气开采这一特殊应用环境下,由于油气井很多距离开采平台较远,甚至达上百公里,变频器与电动机之间需要靠长距离电缆连接。远距离变频驱动供电系统由变频器、电缆及负载电动机组成。其中,变频器多为高压变频器,电缆长度 $>30\text{ km}$,负载电动机多为笼式结构。

2. 系统过电压机理

当变频器为PWM型变频器时,由于PWM输出脉冲的 dv/dt 较高,当驱动距离增加,由于长电缆的分布特性,在电动机端产生过电压、高频阻尼振荡,加剧了电动机绕组的绝缘压力。这种过电压的幅值可能远高于电动机的额定电压,从而使电动机的绝缘迅速老化甚至击穿。

反射波过电压与谐振过电压是长电缆变频驱动系统过电压产生的主要原因。两种过电压的对比见表1。

表1 过电压产生原因对比

	反射波过电压	谐振过电压
过电压幅值	最大为入射波2倍	理论上可以达到无穷大;实际系统中存在阻尼,但是没有固定的上限值
发生的频率	较高频率(较短上升时间)	谐振频率附近;频率等于谐振频率时过电压值最大

3. 长电缆稳态电压降机理

长距离变频驱动系统是一个串联系统,由于电缆的长度增加,使得电缆的电压降不可以忽略。

当电动机端电压过低时,电动机将无法正常运行。同时,本供电系统可能运行于较低的频

率,当变频器在低频运行时,输出电压较低,线路电压降的影响将会变得十分明显,影响电动机的正常运行。

解决方案

1. 降低变频器输出 dv/dt

可以看出,变频器输出高的 dv/dt 以及随之而来的谐波问题是造成暂态过电压的主要原因。因此只要降低变频器输出的 dv/dt ,就可以很好地抑制暂态过电压。

目前,降低变频器输出 dv/dt 的方法,可以分为以下两类。

第一是修改变频器的结构。不同结构的变频器,其输出的 dv/dt 大小不同。增加变频器输出的电平数可以有效地减小变频器的 dv/dt 。串联H桥型变频器是由多个相同的H桥功率单元串联组成,可以完成高电压和大功率传输。与两电平电压源型变频器相比,多电平变频器输出的 dv/dt 显著减小。

第二是在变频出口增加滤波器,降低变频器输出的 dv/dt 和谐波。相比第一种方法,本方法简单易行。一般情况,可以选在变频器出口加装平波电抗器或者LC型滤波器。在滤波器设计时,可以以变频器输出电压的FFT分析结果为依据,滤除对系统过电压影响较大的谐波。

2. 电压补偿设计

对于电缆稳态压降问题,最简单的方法是增加变频器的输出电压。但是考虑到系统的安全稳定运行,电压补偿的值不可太高,否则可能威胁电动机的正常运行。

可以对变频器输出基准电压 U_{out} 的值做简单调

整, 使得其满足以下两点:

- 1) 电动机可以正常运行。
- 2) 电动机端电压不超过额定值。

仿真分析

1. 仿真系统及参数

针对远距离变频供电系统结构, 建立simulink仿真模型。电缆采用120 mm²截面参数, 电动机选取725 HMI系列 1000HP/3930V/153A 20R@60 Hz and 100F电动机参数。具体参数见表2、表3所示。

表2 120 mm²截面电缆参数

参数	项目
单位长度电阻 (20℃交流电阻) / (Ω/m)	1.96×10^{-4}
单位长度电感 / (H/m)	3.92×10^{-7}
单位长度电容 / (F/m)	3.33×10^{-10}
单位长度电导 / (S/m)	1.03×10^{-10}

表3 电动机的参数

项目	参数或资料
额定功率 (HP)	1 000
额定功率因数	0.82
额定电压 (线电压) / kV	3.93
额定电流 / A	153
额定转差率 / p.u.	0.0267
额定转矩 / lbft	1498
定子电阻 / Ω	0.37
定子电感 / Ω	2.25
转子电阻 / Ω	0.40
转子电感 / Ω	2.64

2. 仿真结果分析

(1) PWM型变频系统仿真分析

建立含有双极性PWM型变频器、长电缆和电动机的仿真模型, 其中电缆长度取30 km。AB相间电压始末端波形如图1、图2所示。

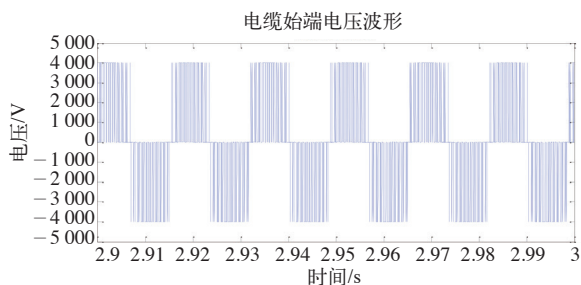


图1 电缆始端电压波形

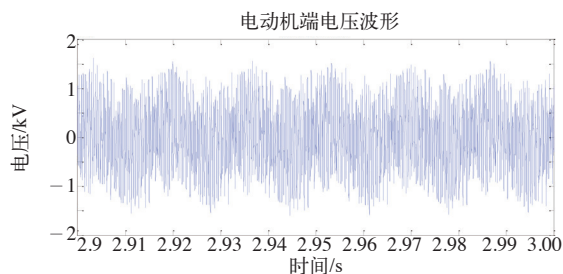


图2 电动机端电压波形

仿真波形表明, 始端电压峰值为4 000 V, 呈现典型的PWM波特征; 末端电压峰值高达15 000 V, 波形中有很大的谐波, 在电动机端出现了较高的尖峰过电压。

理论分析及仿真结果均表明, 对于采用PWM型变频器的长距离变频驱动系统, 在电动机端会产生较高的过电压, 不利于系统的运行。这主要是因为PWM型变频器输出dv/dt较高。

(2) 加装滤波器的H桥型变频系统仿真分析

将始端变频器修改为H桥型多电平变频器, 并在变频器出口加装滤波器。在电缆长度及参数均未变化的前提下, 仿真结果如图3、图4所示。

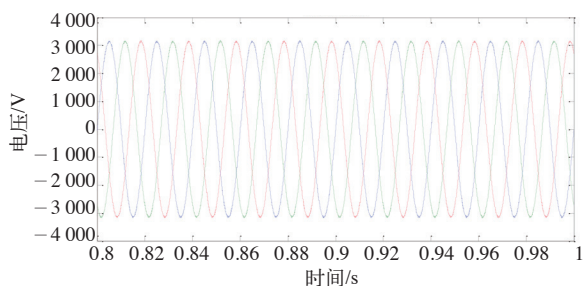


图3 电缆始端电压波形

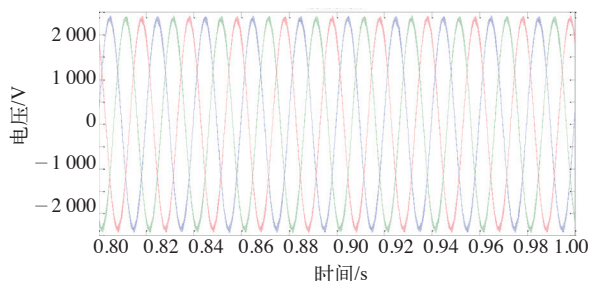


图4 电动机端电压波形

可以看出, 此时始末端电压波形均接近正弦波, 始端电压峰值约为3 000 V, 电动机端电压峰值不足2 500 V, 此时系统中并未出现过电压。这说明, 使用多电平型变频器, 并增加滤波器, 可以降低系统的dv/dt, 很好地解决长距离变频驱动系统中的过电压问题。

仿真结果同时表明, 此时电动机端电压为电缆始端电压的83.3%, 在电缆上电压降为始端电压的16.7%。此时, 电缆的压降已经不可以忽略。可以预见, 随着电缆长度的增加, 电压降将进一步增加。

继续增加电缆长度并仿真, 当电缆长度为60 km时, 仿真结果及电动机的转速曲线如图5~图7所示。

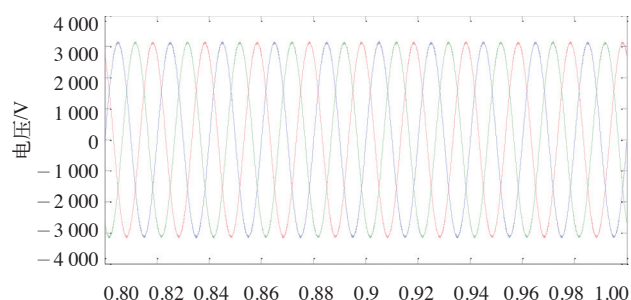


图5 电缆始端电压波形

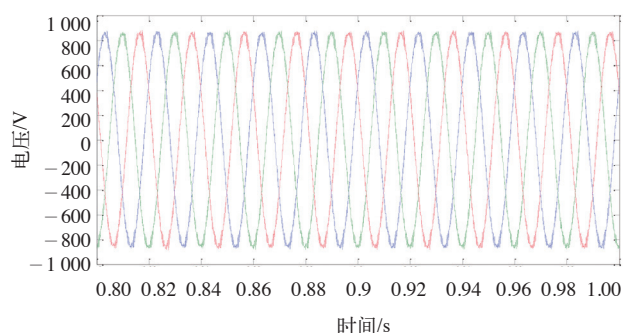


图6 电动机端电压波形

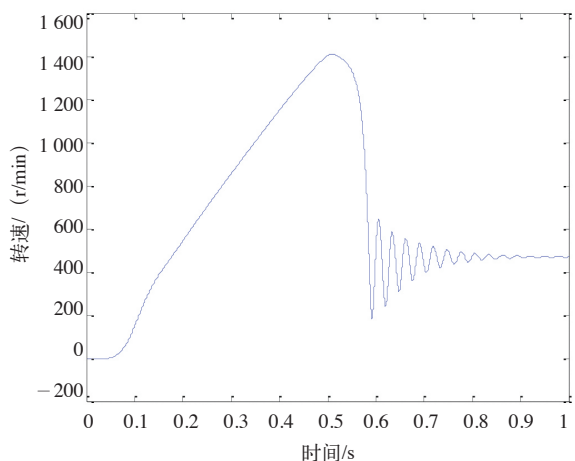


图7 电动机起动转速曲线

可以看出,此时电动机已经无法运行于额定转速附近,而是在约500 r/min的转速过载运行。电压波形表明,此时电动机端电压约为800 V,占始端电压26.7%。这说明,此时电缆压降过大,影响系统的稳态运行。

(3) 增加电压补偿的仿真

在60 km的仿真模型中,将变频器输出电压提高到5 000 V,其余参数不变,仿真结果如图8~图10所示。

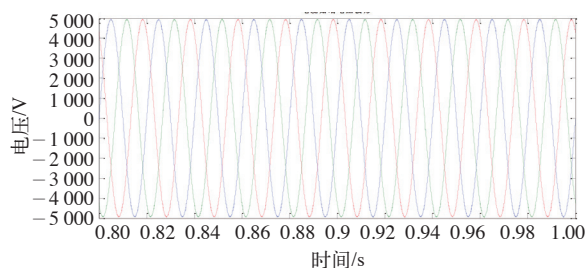


图8 电缆始端电压波形

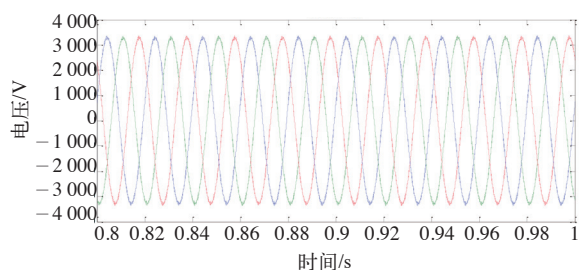


图9 电动机端电压波形

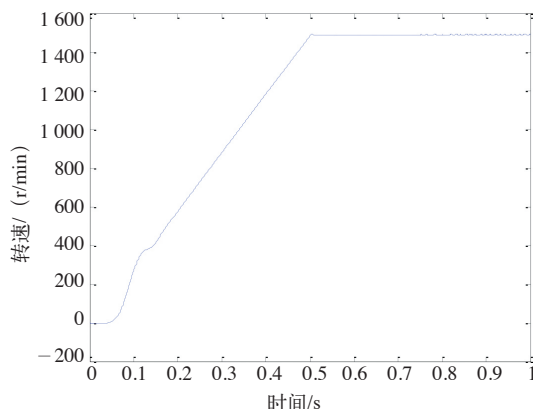


图10 电动机起动转速曲线

可以看出,此时电动机端电压提高为3 000 V,转速曲线表明,此时电动机可以运行于额定转速附近。通过提交变频器的输出电压可以补偿电缆压降,提高电动机端电压,很好的解决电缆压降过大对电动机运行的影响。

结束语

本文介绍了PWM型变频器长距离驱动系统的模型、加装滤波器的H桥型变频器长距离变频驱动系统的模型。仿真结果表明: PWM型变频器长距离驱动系统会产生严重的过电压;采用H桥型变频器并加装滤波器可以有效的削减系统的过电压;随着电缆长度的增加,电缆压降逐渐增加,影响电动机的正常运行;提高变频器输出电压可以补偿电缆压降,保证电动机正常运行。EA