

3000Hp 电驱压裂泵变频撬设计

郭士民

四川宏华石油设备有限公司 四川 成都 610000

【摘要】：压裂是指人为利用水力作用，使油气层形成裂缝，从而改善油在地下的流动环境，使油井产量增加。压裂泵的作用主要就是通过泵送水力使油气层开裂，从而改善油井井底流动条件，主要适用于油气田深井、中深井、浅井的各种压裂泵液注压作业。目前国内使用的压裂泵主要是柴油机驱动，随着碳排放，节能环保的要求进一步严格，电动压裂泵是未来的发展方向，本文介绍了一种新型电驱 3000 马力压裂泵变频撬的设计方案。

【关键词】：压裂泵；变频撬；电驱

1 总体方案介绍

1.1 压裂系统主要参数

页岩气开采地点不固定整套压裂设备体积较大,通常压裂设备放置在压裂车上通过齿轮、变速箱传动,存在传动效率低的问题^[1],本项目采用电机驱动代替传统内燃机提供动力驱动压裂泵。

压裂泵为 3000 马力压裂泵，驱动电机为三相异步电机，电机额定电压为 3300V，额定功率 2240kW，负载特性为：0-700r/min 低速恒扭矩，700-1390r/min 速恒功率，额定扭矩为 30560N.m，冷却方式为风冷。

压裂系统电机为双轴伸系统，电机轴系相对较长，需要考虑扭振抑制。通常认为机械轴是刚体，但实际上机械轴都有弹性，要扭转一定角度才能传递转矩。本项目中，整个轴系包括中间轴、主电机转子轴和联轴器等。整个轴系细长，其弹性变形不可忽略，轴系变成一个振荡环节，有可能导致扭振，有引发轴系损坏的风险。

1.2 变频撬设计要求

由于压裂泵在野外作业和进行频繁的转场，为了便于运输压裂泵采取双撬的形式进行成套，一套是压裂泵本体称为压裂撬，一套是变频撬主要由变频器变压器等构成。

考虑到为了便于运输压裂撬的目标尺寸长*宽*高均不大于 6000mm*2500mm*3000mm。

井场供电最常用电压为 10kV，所以变频撬应考虑 10kV 供电，谐波总量不得大于国家根据 GB/T14549--93《电能质量-公用电网谐波》变频撬注入电网的总谐波不能大于 5%。

另外由于井场往往位于偏远地区，所在地的电网容量往往比较小，压裂泵的功率又相对较大，变频撬直接合闸有可能会因为变压器因为存在剩磁导致磁饱和出现额定电流 8-30 倍的励磁涌流，导致供电侧无预警跳闸，威胁电网安全。所

以变频撬在设计中应考虑添加变压器预充回路，防止励磁涌流的出现。

2 变频撬方案设计

2.1 变频撬方案

整个变频撬主要由七个部分构成，分别是：房体，进线柜，变压器预充装置，整流移相变压器，变频器，出线柜，综合控制柜。其中房体提供主要设备的安装场所，预充装置负责为变压器提供预充，避免发生励磁涌流对电网造成冲击，移相变压器将电网的 10kV 变为 1750V,提供给变频器的整流部分，出线柜提供快速接线通过出线柜可以快速连接变频撬和压裂撬。低压控制柜负责低压配电，房体散热照明以及变频器控制等功能。

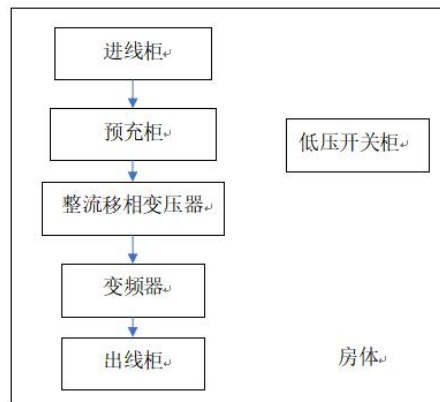


图 1 变频撬方案框图

2.2 电气设备选型

变频撬采用 10kV 供电，电机供电电压 3300V，变频撬需要配备变压器，同时需要配备变压器预充装置，变压器预充装置采用电阻限流方式，当进线断路器合闸后，首先接通电阻对变压器进行预充磁，预充磁完成后电阻旁路变压器直接接通。

考虑到谐波要求，变压器使用 3100kVA 的 10kV/1750V

的 24 脉波移相整流变压器，副边采用△型延边方式绕制。四个副边绕组移相角分别为： $+22.5^\circ$ ， $+7.5^\circ$ ， -7.5° ， -22.5° 。变频器的共有 4 个 6 脉波整流器（2 个 12 脉波整流单元），在电网供电端形成等效 24 脉波整流，经过移相变压器后等效入网电流为 $i_D = \sum I_{24n-1} \sin [(24n-1) \omega t] + \sum I_{24n-23} \sin [(24n-23) \omega t] \quad n=1,2,3 \dots n$ ；根据公式等效 24 脉波整流不含有 5、7、11、13、17、19 次谐波，通过移相变压器，可以有效降低入网谐波电流^[2]。

逆变部分采用 NPC 方式，NPC 又称中性点钳位三电平型，三电平变换器的桥臂上有 4 个电力半导体器件，它通过对直流侧的分压和开关动作的不同组合，实现多电平阶梯波输出电压，可以使波形更加接近正弦波^[3]。

变频撬单线图如图 2 所示。

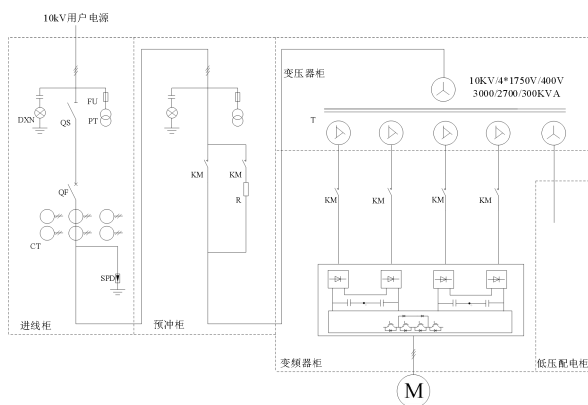


图 2 变频撬单线图

2.3 变频器选型

本项目选用 3.3kV/2240kW 异步电机，功率因数为 0.88，效率为 0.955，其电机的额定线电流值为：

$$I_{MT_nom} = \frac{P_{MT_nom}}{1.732 \cdot V_{MT_nom}} = \frac{2240kW}{1.732 \cdot 3.3kV} = 391.9A$$

由于压裂泵的工作环境特殊，变频器应在额定电流的基础上承受 1.1 倍的过载，故变频器的额定输出电流应大于 $391.9A \cdot 1.1 = 431A$ 。压裂系统对系统可靠性要求较高，变频器应兼容有码盘控制和无码盘控制，当系统带码盘运行时，实时对码盘进行故障检测，当码盘出现故障时，系统随时切换至无码盘控制。

由于压裂现场环境比较恶劣，又需要频繁转场运输，吊

参考文献：

- [1] 李术斌,张炳义.压裂泵用永磁同步电机设计与分析[J].电工技术,2021(13):178-180.
- [2] 杨华安,王辉.整流装置的谐波计算[J].计算技术与自动化,1991,010(003):46-56.
- [3] 骆子溥.基于 SVPWM 调制技术的 NPC 三电平逆变器的研究与设计[D].哈尔滨理工大学,2021.

装过程中可能面临粗暴施工，另外压裂现场可能位于任何纬度和海拔，考虑到这些实际情况，变频器冷却系统应优先选用风冷散热方案，风冷散热相比于水冷维护更加简单，使用成本更加低廉，避免了更换防冻液和水路维修等工作，使用过程中整个压裂撬维护只需要做一些除尘工作，有效降低使用成本。

综合以上考虑方案最终选择英威腾的

GD3000-01-2800G-33 变频器，该变频器采用风冷散热，整流部分采用 24 脉波二极管整流，逆变部分采用 NPC 设计，设计输出电流范围为 0-513A，长宽高分别为 2100mm*1154mm*2039mm，结构紧凑便于布局，非常适用于 3000 马力压裂撬。

2.4 变频撬布局方案

变频撬布局采用目字形布局中间放置变压器，高压部分和变频器分别位于目字形的两端，这种布局方式有效的将高低压区域进行分割，变频器区域内留有检修通道便于操作人员在室内进行检修操作，变频器冷却通过背部风机进行，冷空气从下部进风口进入，热空气从上部出风口排出。变频器散热完全与低压控制部分隔开，检修通道内部可以通过设置空调解决。

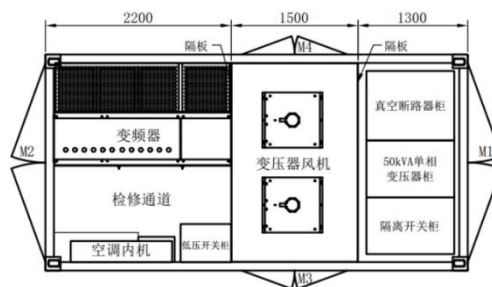


图 3 变频撬布局图

结语

随着碳排放法规要求的日益严格，电动压裂撬会成为未来油气开采行业的标准配置，本项目设计的 3000 马力变频撬能满足 3000 马力压裂泵的控制需求，并且具有体积小、集成度高的优势，便于转场施工，另外采用风冷设计相比于传统的水冷结构，有效的降低了使用和维护成本。