

海上采油平台电站组网原理、方法和后期电站管理策略

文 / 戴一鸣 中海石油(中国)有限公司深圳分公司西江油田作业区

摘要: 随着海上电站并网技术的不断进步, 并网的平台电站数量越来越多, 一个大电网里包含的平台电站也越来越多, 大电网虽然可以提高发电机的负载率, 利于发电机的经济运行, 而且可以向新建平台提供电力, 解决新建设施钻井消耗柴油成本高的难题, 但是保持数量庞大的电站组合能够正常运行, 需要更先进的技术、程序管理方法和策略, 目前, 海上组网电站瘫痪造成大面积停电的事故时有发生, 油田产量受到损失, 而且电站设备也受到异常冲击, 不利于电网的稳定运行, 所以, 本文针对电力组网的设计、建造、调试和管理进行了深入分析, 以期达到使组网电站平稳运行的目的。

关键词: 透平发电机组; 电力组网; 原油发电机组

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.06.081

引言

平台电站间的电力组网有诸多优势, 电站并网后, 每个平台可以双路供电, 电站容量更大, 抗冲击能力更强, 减少停电风险。而且电站连接成网, 有利于周边新建无主机平台的接入, 连接到任何一个平台都可以由整个电网的发电机进行供电, 钻井时也可以减少柴油消耗, 降低燃油成本。

一、电站组网的原理

(一) 不同电站间并网点电压差值要求

在电站并网过程中, 电站并网点的电压大小、频率、相位、相序等需要满足一定的条件, 如果并网点的电压参数相差过大电站就无法进行并网, 严重时甚至会造成设备的损坏。因此, 需要将电站之间的电压参数调节到合理范围之内, 目前电站并网时电压差值在 $\pm 5\%$ 以下, 频率差小于 $\pm 0.05\text{Hz}$, 并网角度在 $\pm 5^\circ$ 以内。

(二) 电站间并网对电压等级的要求

目前海上采油平台电站发电机发出的电压主要有6.3kV、10.5kV, 电站间的距离有2km-30km不等, 长距离输电在海底电缆会产生电压降, 所以给6.3kV电站输电可以选用10.5kV以上的电压, 虽然有压降, 但是在经过升压变压器电压调节以后仍然可以满足6.3kV电站使用。给10.5kV电站输电就需要选用35kV以上的电压, 经过升压变压器电压调节以后仍然可以满足10.5kV电站使用。

如果在一个大的电网里发电机发出的电压有6.3kV和10.5kV, 就需要统一一种电压输电, 只有用35kV以上的电压输电才能同时满足2种不同电站的输电需求, 但是输电电压越高, 对变压器、海底电缆、断路器等参与并网设备绝缘性能等参数要求较高, 造成成本升高, 所以目前采用的是35kV输电, 既能保证输电需求, 又能降低建造成本。

1. 高电压输电更有利于现场施工

假设输送6000kW的负载, 用0.4kV的电压输送, 需要的电流为 $6000\text{kW} \div 0.4\text{kV} = 15000\text{A}$, 用35kV的电压输送, 需要的电流为 $6000\text{kW} \div 35\text{kV} = 172\text{A}$ 。输送172A的电流目前120平方的海底电缆就可以满足要求, 但是要输

送15000A的电流就需要非常粗的海底电缆。而35kV的高电压输电可以减小输电电流, 更方便现场电缆的铺设和连接施工。

2. 高电压输电减少电压降和电缆损耗

海缆的电阻R一定, 15000A的电流会产生 $15000 \cdot R$ 大小的压降和 $15000 \cdot 15000 \cdot R$ 的功率损耗, 172A的电流产生 $172R$ 的压降和 $172 \cdot 172 \cdot R$ 的功率损耗, 所以采用35kV高电压输电既可以减小电压降, 也可以减少线损, 防止海缆发热。

(三) 发电机 DROOP 和 ISOCH 模式控制区别

并联的发电机在DROOP控制模式, 电压和转速会随着负载大小的变化而变化, 当负载增大时, 转速和电压降低, 转速降低导致和同步转速差值变大, 定子电流会增大, 增大的电流和增大的负载达到一种新的平衡, 新的平衡状态下并联发电机发出的电压和转速都会降低, 现场各电压等级设备输入的电压也会降低, 这样不利于现场设备正常运行, 所以发电机在DROOP模式需要人或者EMS系统对转速和电压进行二次调节, 使发电机输出电压在10.5kV, 频率维持在50HZ, 才能保证现场设备稳定运行^[1]。

并联发电机在ISOCH控制模式, 此模式下电压和转速也会随着负载增大变低, 但是机组监测到两个参数下降以后会自动恢复到内部的设定值, 调整到加负载以前的电压和转速, 维持现场用电设备电压平稳, 但是定子电流也会增大, 所带负载增加。

并联发电机在DROOP和ISOCH两种模式, 如果负载增加, 在两种模式下的机组转速下降, 但是ISOCH模式下的机组为了维持参数不变, 会自动加油门来提高转速到正常值, 随着油门的增加, 负载会转移到此机组, 造成新增加的负载大部分增加到ISOCH模式的机组, 使机组功率不平衡, 严重时会使发电机过载。

二、电站组网的方法

(一) 电站并网所需设备安装与试验

1. 升压变压器两侧电缆安装

升压变压器的中压侧电压一般是6.3kV或者10.5kV, 此侧中压电缆安装是单根的3芯电缆, 要求电

缆两侧屏蔽金属层必须接地，防止电缆损坏时屏蔽层带电，给人员带来触电风险。升压变压器的高压35kV侧用的是3根单芯电缆，要求电缆金属屏蔽层的变压器侧不接地、电缆的另一端断路器侧接地，因为单根电缆通过电流时会在屏蔽层上感应出电动势，如果两侧都接地，屏蔽层会形成电流回路，使屏蔽层流过电流，电流过大时会造成电缆发热严重。另外高压单芯电缆必须绑扎在电缆桥架上，使用金属扎带时必须把三根电缆绑扎在一起，成品子型绑扎，否则单芯高压电缆会在扎带上感应出电流，使扎带发热。

两侧电缆的高压头必须按照要求制作，安装完连接到变压器和断路器之前必须由专业人员进行耐压测试，合格后才能连接到设备，连接时要确保电缆的弯曲度合理，电缆之间和电缆与金属设备之间的安全距离符合要求，确保电缆相序与设计一样。

2. 海底电缆的安装

海底电缆铺设完成会在海缆箱与高压电缆进行连接，连接之前先安装每根电缆的高压头，制作完成进行耐压试验，全部合格后进行连接，连接螺栓必须使用扭力扳手拧紧。

为了防止电缆被船只抛锚的锚钩损坏，海底电缆在通电试验正常后会埋入地下，在挖沟阶段设施人员需要注意海缆的运行情况，防止挖沟机损坏海缆。

3. 并网调试

所有设备安装和设备试验完成，就可以进行电力并网调试工作，从大方面考虑并网工作关系到两个设施，一个新建设施，另一个是已经投产设施。如果在生产设施本身就具备足够容量的变压器，足够多的断路器，发电机也能在EMS系统的控制下改变转速和电压，则已投产设施不用停产，可以在生产阶段进行并网工作，不会造成产量损失。如果已生产设施不具备上述功能，则需要停产进行改造工作，会造成产量损失^[2]。为了减少产量损失，需要新建设施给海缆供电，把35kV电压送到已

投产设施，由已投产设施先进行并网调试工作，调试工作完成之后马上进行复产，同时把35kV电压返送回新建设施，由新建设施开展并网调试作业，这样已投产设施可以提前2天完成复产，减少产量损失。

需要并网的两个电站调试连接工作基本一致，主要包括如下：

(1) 变压器中压侧和高压侧送电冲击试验

按照规范要求新投入变压器需要在两侧进行冲击试验各3次，10.5kV侧由本平台发电机供电进行冲击作业，此工作可以在停产前完成，无须等到停产以后。35kV侧冲击试验需要由并网的另一个电站供电，如果并网变压器不止一台，而是2或3台两联运行，可以由其中一台供电到35kV母排，然后由本设施自己提供的35kV电压进行冲击作业，这样此项工作也可以提前完成，无须放入到调试阶段完成。

(2) 高变低压两侧合闸励磁涌流装置调试

调试此装置可以在变压器冲击试验时一起完成，合闸和断开变压器断路器时都要投入此装置，该装置会自动记录断路器断开时电压的角度，下次合闸时会以同样的角度合闸，从而减小励磁涌流，降低励磁涌流对电网的冲击。

(3) 高变低压两侧合闸励磁涌流装置调试电站并网断路器两侧相序校验

核相点的位置可以在高压侧、中压侧利用一次核相仪进行校验，如果一次核相不具备条件，也可以在二次侧进行核相，二次核相需要提前测量PT一次与二次接线对应，PT二次接线到同期装置的接线对应，确保二次与一次相序一致，通过测量并网电站两个PT二次的电源相序就可以确认一次是否同相序。

上述步骤完成以后就可以开展同期并网作业，需要在同期装置设置同期电网的相关参数，保证电压、频率等参数在合理范围内才可以闭合并网断路器，相关参数设置如表1。

表 1 参数设置数据分析表

定值组别	ISA 代码	含义	整定范围及步长	VCB001 定值	VCB002 定值	VCB003 定值
同期系统参数	d1189	同期点并列类型	发电机 / 线路	线路	线路	线路
	d1172	无压合闸方式	自动 / 选择	选择	选择	选择
	d987	待并侧 PT 二次额定电压	30 ~ 120V, 0.01V	110.00V	110.00V	110.00V
	d988	系统侧 PT 二次额定电压	30 ~ 120V, 0.01V	110.00V	110.00V	110.00V
	d1170	待并侧超前系统侧角度	-60 ~ +60°, 1°	0°	0°	0°
	d1171	同频频率阈值	0.01 ~ 0.1Hz, 0.01Hz	0.05Hz	0.05Hz	0.05Hz
	d1180	合闸回路动作时间	0 ~ 0.833s, 0.001s	0.1s	0.1s	0.1s
d1188	同期启动后复归时间	0 ~ 999s, 1s	180s	180s	180s	

同期闭锁定值	d1173	低压闭锁电压定值	20% ~ 59%UN, 1%	20%UN	20%UN	20%UN
	d1174	有压判别电压定值	61% ~ 99%UN, 1%	80%UN	80%UN	80%UN
	d1175	频差允许低限值	±0.59Hz, 0.01Hz	-0.3Hz	-0.3Hz	-0.3Hz
	d1176	频差允许高限值	±0.59Hz, 0.01Hz	+0.3Hz	+0.3Hz	+0.3Hz
	d1177	压差允许低限值	±20%UN, 1%	-5%UN	-5%UN	-5%UN
	d1178	压差允许高限值	±20%UN, 1%	+5%UN	+5%UN	+5%UN
	d1179	频差滑差闭锁定值	0.15 ~ 9.99Hz/s, 0.01	0.40Hz/s	0.40Hz/s	0.40Hz/s
	d1187	允许合闸角度值	0 ~ 85°, 1°	5°	5°	5°
	d1181	发电机过压电压值	105% ~ 150%Un, 1%	120%Un	120%Un	120%Un
均频均压定值	d1184	同频调频脉冲宽度	0 ~ 99.99s, 0.01s	1.00s	1.00s	1.00s
	*d1185	自动调频投退	投入 / 退出	投入	投入	投入
	*d1186	自动调压投退	投入 / 退出	投入	投入	投入
	d1182	均频控制比例系数	0 ~ 9999, 1	100	100	100
	d1207	调频脉冲间隔	0 ~ 99.99s, 0.01s	1.00s	1.00s	1.00s
	d1183	均压控制比例系数	0 ~ 9999, 1	100	100	100
	d1208	调压脉冲间隔	0 ~ 99.99s, 0.01s	1.00s	1.00s	1.00s

参数设置正确以后需要对自动同期和手动同期功能进行调试, 保证两种功能都能够正常合闸。

三、并网电站的管理

(一) 技术管理策略

1. 通过EMS实现设备远程监控和控制

能量管理系统(EMS)能够在远方控制高压断路器、中压断路器、低压抽屉柜断路器的合闸与分闸, 同时能监控这些断路器的分合状态, 该系统也能读取盘柜多功能表和电动机马达保护器的参数, 在电脑屏幕上显示设备的电压、电流、功率、功率因数等参数。该系统还能与中高压盘柜的综合保护继电器和马保通信, 来判断设备状态是否正常, 通过EMS的人机交互界面, 作业人员可以掌控电网全局, 读取电网数据, 分析电网现状, 了解电网动态。

2. EMS实现发电机有功功率平分的过程和原理

EMS能够实现所有机组有功功率平衡, 如果电网中所有发电机额定功率大小基本相等, 则所有发电机的控制模式需要在DROOP模式, 一般EMS需要把功率平分到每台机组, 但是平分功率的过程比较缓慢, 如果有一台电站的一台机组由于故障紧急停车, 则多出的负载会先平分到本电站的运行机组, 然后经过EMS的二次调节, 再把这个电站多出的负载功率, 转移到其他电站的机组平均分配。

造成这种现象的原因是同电站的机组调速器之间有均频线, 在调速器内部PID调节作用下负载增加后同电站的机组会自动接收功率, PID的调节速度在几毫秒时间, 而EMS的调节速度是几百毫秒的时间, 所以功率增加到同平台机组的时间远远小于EMS把功率转移到其他电站发电机组的时间, 从而出现本平台机组功率先增加, 过一段时间再和其他电站机组功率平衡的现象^[3]。

3. EMS控制发电机组无功功率的原理

EMS是无法实现电站所有机组无功功率平分的, 只

能实现电站内部运行机组的无功功率平分, 同时也可以实现电站无功功率平分, 也就是说电站无功功率可以平分, 至于机组无功功率的大小等于电站无功除以电站内在运行机组的数量。所以电站总无功平分, 启动发电机数量多的电站, 每台机组的无功功率就会小。调节的方法是调节电站发电机出口母排电压值, 母线电压偏大的电站, 无功功率就大, 电压过大甚至可以把整个电站的无功全部转移到一个电站, 造成无功不平衡, 此时就要设置个电站的10.5kV母排电压值相等, 实现电站间无功平衡。

(二) 程序管理策略

并联电站涉及2个及以上个数的海上设施, 需要有专职或兼职人员关注整个电网的运行情况, 包括电网的总功率、发电机在运行台数、大功率设备的启动、预测未来负荷、机组大修计划等事宜。

结语

通过以上分析, 可以明确海上电力组网的详细步骤, 建造期间对每一步骤时间进行优化, 减少已投产设施的停电时间, 减少原油产量损失。在电站大网运行期间合理优化发电机的运行模式, 保证EMS设备正常运行, 同时, 采用电站良好的沟通策略, 能够从建造和运营两个阶段实现电站的平稳运行。

参考文献

- [1] 张建飞. 浅谈发电机继电保护的设计与应用[J]. 电气时代, 2013, (10): 66-67.
- [2] 殷建刚, 彭丰. 发电机失磁保护的動作分析和整定计算的研究[J]. 继电器, 2000, (07): 35-36, 61.
- [3] 王鹏, 郇能灵, 倪明杰, 等. 舰船用大型发电机保护方案配置[J]. 电机技术, 2008, (06): 47-50.

作者简介:

戴一鸣(1990-), 男, 河北保定人, 大学本科, 工程师, 主要从事电气自动化研究。