[发电系统]

海上无人平台混合直流发电系统的设计探索

文/海洋石油工程股份有限公司设计公司　吴占友　唐　怡　蒋志鹏　郭建文

根据我国海域太阳能、风能的分布情况，再结合海上石油平台对电力的需求情况，可以对太阳能、热力、风能3种电源的比例进行合理规划，以获得最佳的现场发电效率。

我国周边海域存在不少小型油气构造，开采收益低，因此一般需要建造安装简易海上平台，用于油气生产。由于这些小型油气田一般比较分散，依托周边油气田提供电源成本很高。笔者根据小型边际油气田开采的特点，探索设计一种小型电站系统，实现无人值守情况下自动可靠运行。

这些小型油气田通过优化工艺流程和设备配置，尽最大可能将用电负荷降低，控制在约1 000 W以下的水平。

太阳能是一种清洁能源，目前技术已经成熟，但是太阳能在空间有限的情况下能够提供的电力非常有限，无法充分满足海上石油平台对电力的需求。热电发电机是利用热电偶原理设计的一种微型发电机，可以提供直流电力，但单台价格很高。笔者探索将这两类电源进行组合，设计成混合直流系统，使之可以发挥各自的优点，实现电源系统的可靠性和供电灵活性的提高，鉴于海上风力资源比较丰富，笔者同样将风力发电作为太阳能发电的后备电源引入这一系统。这就组成了由3种发电形式组成的混合直流系统。

混合直流发电系统组成及原理

1．系统组成

所设计的海上无人平台混合直流发电系统主要由发电系统、充电装置、直流配电盘、电能存储装置以及必要的远程监控装置组成。混合直流发电系统框图如图1所示。

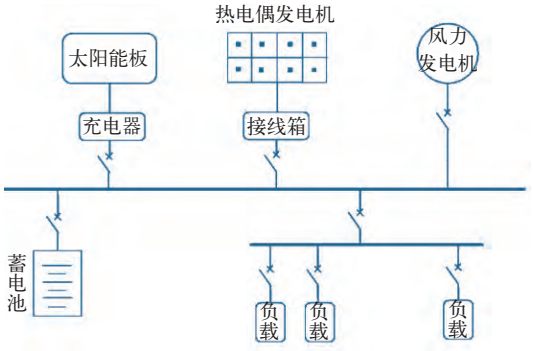

图1　混合直流发电系统框图

发电系统主要由太阳能发电系统、热电发电机和风力发电系统混合组成。在白天，太阳能板在为一定负荷提供电力的情况下，同时给蓄电池组充电，以便储存用于夜间供电所需的能量。热电发电机作为主要电源昼夜持续发电承担相应比例的用电负荷。风力发电仅作为后备电源，考虑在阴雨天气时作为太阳能的后备补充电源，以便延长系统的自持时间，提高系统的供电可靠性。

2．太阳能发电系统

太阳能发电系统主要由太阳能板、充电器和蓄电池组构成。

（1）太阳能电池板

太阳能电池通过半导体物质将光能转换为电

能，是整个太阳能发电系统的核心部件。目前，绝大多数太阳能电池都是由半导体硅材料制成的。太阳能电池是光电转换的最小组成部分，功率极小，不能满足外接负荷的用电需求。实际中，都是使用许多太阳能电池组件经过相应的串并联后构成的光伏阵列——太阳能板。

目前，市场上较为常用的太阳能电池包括单晶硅太阳能电池、多晶硅太阳能电池和非晶硅太阳能电池。单晶硅太阳能电池开发得最早，其结构和生产工艺均已成形，产品已广泛应用于各行各业。规模生产的单晶硅太阳能电池，其效率可以达到15%。在阴雨天较多，太阳光照不足的地区，单晶硅太阳能电池因其性能、参数相对稳定获得了较为广泛应用。

（2）太阳能充电器

对于性能优越的太阳能发电系统，一套性能良好的充电器十分重要。太阳能发电系统输入的能量不稳定，只有通过充电器调整太阳能电池的输出电压，才能实现太阳能电池的输出功率的调节，以满足负荷用电需求。通过充电器可以实现蓄电池过充保护、过放保护和短路保护等功能，从而保证整个太阳能供电系统的可靠运行，保证太阳能板在不同的温度、不同的辐射情况下输出功率最大，使太阳能发电系统具有很高的效率。

（3）蓄电池

在太阳光足够强的时候，蓄电池组需要完成电能存储，在夜晚或者阴雨天太阳光弱的时候，蓄电池需要通过放电向负载提供直流电源。因此，蓄电池既要完成多余电能的存储，又要保证负载的正常工作电压。由于太阳能板输出不稳定，所以需要合理配置蓄电池容量保证太阳能供电系统正常运行。

常用的蓄电池包括铅酸蓄电池和镍镉蓄电池。其中，铅酸蓄电池以其价格低廉、供电可靠和电压稳定的特点，广泛应用在各工业领域。但普通的铅酸蓄电池需要加水、加酸，电池维护多，另外还会产生腐蚀气体，污染环境。目前，全封闭免维护蓄电池逐步得到推广应用。

蓄电池容量直接影响太阳能供电系统的可靠性及价格。蓄电池容量过小不能满足夜晚或者阴雨天系统供电需要，容量过大一方面费用较高，另外，蓄电池长期处于亏电状态，影响蓄电池的使用寿命。常规设计太阳能电池板输出功率需高于负载用电需求4倍以上，才能保证给蓄电池正常充电。

3．热电发电机

热电（即热电偶）发电机是基于赛贝克效应，也称为热电效应的一种新型发电装置。整套发电装置结构简单、制造方便且工作过程中无污染。热电偶的基本原理是利用两根不同材料的导体两端接合成回路，结合点两端的温度不同，回路中将产生温差电动势（也称为热电动势）。热电偶工作原理图如图2所示。

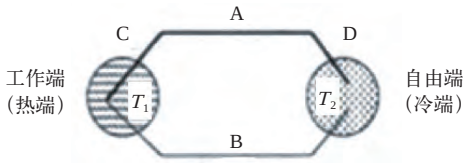

图2　热电偶工作原理示意图

如图2所示：其中粗实线A和细实线B分别表示两种不同材料的导体，导体A和B被称为热电偶的极。高温端C（温度记为T_1）是工作端，通常连接在一起；低温一端D端（温度记为T_2）是自由端，将自由端两端闭合，回路中产生的温差电势可以表示为

$$\varepsilon_0 = \alpha (T_1 - T_2)$$

式中，α为塞贝克系数。

热电偶的工作端和自由端在温度恒定的条件下，即热电偶工作于某个恒定的温度差，热电势的值也基本恒定。

目前，市场上较为成熟的热电发电机一般由燃烧器、发电单元、点火系统、燃料系统、自动关闭系统和直流稳压装置等部分组成。

热电偶的热端，由燃料气产生的高温（约538℃）来维持。燃料气可以使用天然气。燃料气通过喷嘴后膨胀，然后流经文丘里管，吸入燃料所需要的空气。燃料气体流量可由操作人员按所需的设定功率由调节阀控制。热电偶的冷端由一组热管来维持较低的温度（163℃）。每个热管都密封，并注入定量的液体。该液体受热会沸腾变成饱和蒸气，蒸气在其上部区域会在散热片的作用下再次冷凝，在此过程中，热以一种非常有效的方式将热量传递到散热片。散热片依靠自然对流将热量传递到环境空气中。热电偶采用密封封装，有绝热材料包围，将热损耗降低到最低。

总之，当热电材料的冷、热端保持温差时，热电发电机将产生电能。温差和功率大小取决于提供给燃烧器的燃料供应速度以及周围空气提供的冷却量。

利用热电偶技术实现温差直接发电是一种绿色环保的发电技术。热电发电机无污染，操作简单，独立使用或集中规模化发电均可。热电发电机整个转换过程中没有一个运动的部件，所以可靠性高，寿命长，可达20年以上。

4．风力发电系统

我国近海风能资源非常丰富，海上石油平台利用风能发电具有明显的优势。在风力发电系统中，风力机驱动永磁同步发电机发电，所发出的交流电经整流后给蓄电池充电或供给负载，DC/DC转换器用来改变风力发电机的负载特性，调节发电机输出功率和控制蓄电池的充放电。风力发电系统结构如图3所示。

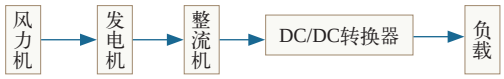

图3　风力发电系统结构框图

风力发电系统主要由风力机、三相永磁同步发电机、整流器、DC/DC变换回路、蓄电池、逆变器以及控制器组成。

1）风力机。通过外界自然风对风力机做功，把风能转换为机械能驱动三相永磁发电机发电。风力机的主要结构为风轮。

2）发电机。发电机是小型风力发电系统的核心。在风力发电系统中，发电机将机械能转换为电能。发电机直接影响整个风力发电系统的转换效率、运行方式和装置结构。目前，市场上应用较为广泛的风力发电机包括感应发电机、同步励磁发电机、双馈发电机和永磁同步发电机等。三相永磁同步发电机较相同额定容量的三相发电机体积小，价格便宜，其转子磁极使用永磁体，无需加设励磁绕组，无需额外增加直流励磁电源，没有励磁功率损耗，效率高。永磁同步电机以其高效率、高能量密度、良好的低速性能等诸多优点，广泛应用于中小型风力发电系统。

3）整流器。风力发电机输出的三相交流电通过三相桥式整流器转换为直流电。

4）DC/DC转换器。由于外界自然风不稳定，发电机产生的电能也极不稳定。通过DC/DC转换器将整流器输出的直流电进行调整，完成风力发电系统最大功率跟踪、蓄电池充电电压控制。DC/DC转换器的核心器件是半导体开关。通过控制DC/DC转换器中半导体器件的导通、关断来改变和控制输出的直流电压。

5）蓄电池。蓄电池主要用来储存电能，由于风能不稳定，选择合适的蓄电池同样重要。

混合直流发电系统配置原则

一般考虑由热电发电机承担主要负荷，太阳能发电系统承担小部分负荷。以中国南海海域为例，由于太阳能资源丰富，可以将太阳能的比例适当提高，在渤海海域，太阳能的比例则适当降低。风力发电机组的容量按照与太阳能系统相当的水平设置，作为太阳能系统的后备系统。若平台空间较宽裕，可以加大太阳能系统的比重，减少热电发电机的数量。系统总功率与各发电装置的配置比例可以用式（2）表示：

$$Z=A+B+C$$

式中，Z表示系统总功率；A表示太阳能发电功率，在南海海域其值可以考虑取（30%～50%）Z左右，在渤海海域则考虑降为（20%～30%）Z左右；B表示热电发电机功率，其值与A的取值之和必须满足系统总功率要求；C表示风力发电功率，其作为太阳能发电的备用，如果太阳能正常使用，则风力发电设备不运转，$C=0$，如果太阳能无法正常使用，即$A=0$，则C的取值与A的取值必须满足系统总功率要求，建议C与A取值相同。

由于无人值守平台是油气生产设施，规模小，原则上电气系统按照防爆设计，以提高系统的安全性。全系统各部件和设备一般按照二类危险区使用需求考虑，盘柜均安装在防爆外壳内，太阳能板为防爆产品，热电发电机同样是防爆设计，可以在二类危险区安全运行。

应用展望

这一系统可以根据不同使用条件因地制宜，适当调配，以充分适应所处安装环境，相信可以形成一套可靠的发电系统为海洋石油开采提供可靠的电力供应，从而摆脱对海底电缆供电的依赖，使各无人值守平台实现电力上的独立，可以极大地增强平台运行的可靠性，避免海底电缆意外损坏导致的生产事故以及高昂的抢修成本。希望在不久的将来，这一系统可以成为海上无人值守平台的主要电源系统之一，发挥它的自身优势，为我国海洋石油工业的发展做出贡献。EA

（收稿日期：2016.12.10）

（编辑：刘群点）