

[光伏]

漂浮式水面光伏电站关键技术研发与应用

文/郑 凯
中油电能气电公司生产部

重点论述了水上光伏电站在建设使用的新技术、新材料和新工艺，即光伏组件倾角的设计、浮体材料的选择及锚固技术的实施。对浮体使用的新材料进行了翔实的介绍和材料比选，展示了沉锚施工方案，并介绍了整个施工过程，为漂浮式水面光伏电站关键技术研发与应用提供了参考。

我国在“十四五”计划中明确提出，进一步将新能源行业作为重点发展的新领域，提高新能源发电的消纳和储存水平，并明确提出“碳达峰、碳中和”的新定义，以进一步树立低超临界值CO₂排放量标准，并争取完成2030年碳达峰、2060年碳中和的总体目标。该战略性目标为我国未来新能源开发工作奠定了强有力的基础，使我国清洁能源开发进程向前迈进了一大步。在该战略性目标的指引下，我国新能源发电事业的发展速度有较大程度提升。

漂浮式光伏的应用背景

能源问题一直是备受中国以及全球各国重视的一个热点与难点课题。可再生能源作为国家最主要的能源资源，在解决能源需求、改变资源结构、降低环境污染及推动国家经济社会发展等方面都起到了重要作用。而在世界能源安全与气候变迁问题日益严重的情况下，太阳能发电也越来越得到了全球各国的高度重视。

太阳能资源贮量大、分布范围广阔、无环境污染。而太阳能光伏发电系统运用光伏电池的光生电效应，通过把太阳光辐射能转化成电能，并在独立及并网电力系统中运行中获得了普遍的运用。

目前，太阳能光伏电站应用广泛，而地面光伏

电站存在以下问题：一方面，我国日益匮乏的自然资源对大规模地面光伏电站的限制将越来越明显，西部沿海地区可使用的土地规模较大，但西部地区对电能的需求量并不大，而耗电量大的东部地区却受限于很少的用地规模，不能大量开展地面光伏电站工程；另一方面，由于屋顶资源的不确定性加上政府相关补贴政策没有落实，导致分布式光伏电站的发展面临各种不确定因素。目前，光伏电站建设的重点更多地选择了鱼塘、湖泊的水面，如果能在水面上建设光伏电站，在水底开展渔业产业，不但能解决原来光伏电站项目场地受限的问题，还能达到水产经济效益与能源发电经济效益“双赢”的目的。

漂浮式光伏电站结构型式初步设计

1. 光伏阵列

选用晶科单晶光伏发电组件。该组件单片功率达到460 Wp，尺寸为2 182 mm×1 029 mm×35 mm，组件数量总计达到112块。每个组件重量为25 kg，组件总重达到2 800 kg。现场有1个光伏子阵，总计为7排，每排的光伏组件为16块。

2. 浮体和支架

本站以漂浮安装方式为主，采用金属杠杆和浮

体组合的方式作为浮体布置形式。浮体之间借助抱耳连接产生东西运维通道，所有运维通道间均是借助南北向金属杆件做好铰接的安装基础，随后凭借金属支架将光伏组件安装在该浮动基础上。为确保组件通风良好，不需要将浮体布置到组件正下方位置。光伏子阵列排列现场如图1所示。



图1 光伏子阵列排列现场

3. 逆变器

经过分析最终选用离并网储能逆变器一体机。该一体机的额定功率达到5 kW，直流电压最高可达600 V。两单组串支路借助逆变器完成连接，所有的串支路均包含8块光伏组件，这些组件采用串联的方式连接在一起。

漂浮式水面光伏电站关键技术研究

与其他光伏项目相比，漂浮式水面光伏电站有很多优势，最突出的就是大幅降低了对土地资源的依赖，但与此同时，漂浮式水面光伏电站也有更复杂的技术难点急需解决，面临的环境问题比地面光伏项目更为复杂。因此唯有切实克服了技术难题，方可使新型结构型式的水面光伏项目得以更大面积的普及。

1. 光伏阵列方位角及倾角的选择

(1) 方位角的选择

在方位角选择上应当认真比对，以确保发电量最大为最优设计。光伏元件支架主要采用固定式，其特征为无法调整。光伏阵列主要以正南角度作为朝向，位置角为0°，在这种情况下发电量最大。

(2) 倾角的选择

倾角即是太阳能组件方阵平面与水平场地间的角度。选择光伏阵列倾角时应将天气因素考虑进来，并应当综合考虑多方位的因素。通常情况下倾角有20°及12°两种方案。目前12°倾斜度方案主要使用在水上光伏工程中。由T/CPIA0017—2019《水上光伏发电系统工程设计技术规范》可知，光

伏组件倾斜度越大，其影响范围便会越大，并且组件也需要承载较大的风荷载，这就极有可能导致设备翻沉情况，所以针对当前开工的水上光伏电站工程，需要依照组件布置方式的差异性选择差异化的设计方案。倾角设计方案主要有三种，分别是10°、5°及12°。风荷载计算式为

$$W = K W_k A \quad (1)$$

式中， W 为风荷载的设计值； A 为计算面积； W_k 为风荷载标准值； K 为方阵修正系数。

仿真建模工作采用PVsyst软件系统完成，除此之外，还需要考虑雪雨冰霜以及风荷载等因素。工程设计以20°倾角设计方式为主，具体原因是：一方面，使倾角值和PVsyst的模拟核算的数值相符，也就是最佳的倾角值，这样组件对太阳光照射量的承受度就会大幅度增加，对应的单位年发电量也会进一步加大；另一方面，由气象环境部分数据可知，开源区域属于季风性大陆性环境气候，春夏西南风较多，而秋冬西风比较多，通常风力在2.2~4.2 m/s之间，最高风力不大于5 m/s（除去极度自然气候条件状况）。该项目体积小、部件重量小，设计专家经由很多试验以及风载试验后得出结论：该项目部件没有倾覆的风险。为比较不同倾角的效果，选用了12°和20°两个倾角做了比较试验，经过1个冬季以后，可以看出二者发电量明显不同。

2. 浮体

(1) 浮体型式

漂浮体是整个漂浮式水上光伏电站漂浮体系的基础，而悬浮固体的类型和应用材料也很多，并且随着漂浮式水上光伏电站的发展在不断地更新或调整。不同漂浮系统的适用性和利弊各有不同，鉴于该项目体量、成本要求和实施困难等原因，采用HDPE浮箱+支架的漂浮体技术。

(2) 浮体材料

材质特性直接关系到浮体系统设计寿命。HDPE目前已经被我国普遍采用，这种超长耐候材质不但抗老化，而且耐腐蚀。

不同原材料提供方生产工艺不尽相同，该项目选择新款HDPE产品，并对其材料进行改性，因此具备了更好的性能，在很大程度上改善了结构稳定性以及耐久性等。浮体的使用寿命取决于材料特

性。目前光伏发电产品的工作寿命一般是25年，那么浮体结构的使用寿命不能低于25年。目前所应用的新型浮体材料，在很大程度上影响着光伏电站的资金利用、维修保养以及工作的正常性和安全性。

3. 锚固系统

(1) 锚固系统的作用和组成

锚固控制系统不仅是进行水面漂浮设计的关键，还是漂浮和接地及敷设等控制系统能否安全工作的关键。锚固系统主要功能如下：限制漂移区域，明确组件的方向，规避悬浮固体掀翻倾覆等，使漂浮光伏阵列可与外部环境负荷进行对抗。

锚固系统主要由锚固长度体系、系泊缆及锚固桁架组成，如图2所示。

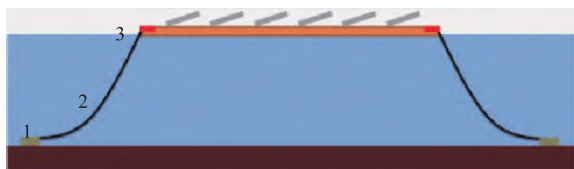


图2 锚固系统

图2中，1是锚固长度体系，对漂浮方块矩阵进行约束，一般是钢筋混凝土结构的重力锚和桩锚，还有地锚以及船锚；2是系泊缆，是一个阵列，对水底的锚固性能基础和太阳能光伏发电设备进行连接，一般是捆扎绳索和金属锚链以及弹性绳索等；3是锚固桁架，和系泊缆进行连接，一般是金属连接。

(2) 锚固方案选择

应考虑项目所在的水库周边状况、库底地质和建设效益等多种因素，有针对性地制定锚固措施。通过比较多种锚固方法，该项目采用重力锚。

(3) 沉重力锚方案

1) 设计方案。按照原先的研制成果，并考虑了风力荷载、水流以及海浪的作用，制定了机动性好、便于安全实施的沉锚方案。

2) 作业流程。由于本方案安装作业时正处于冬季水面结冰状态，因此所有作业流程按照冰上作业的流程进行阐述。首先，运送车在工地岸边的工作

半径内完成运输并做好锚固定位，拖车将锚固定位块放在冰船上；锚先在指定点标记冰，然后在标记点破冰。但由于锚定长度的总重量为1.5 t，且冰厚不均匀，可能发生断裂现象。为了保障现场安全，采用了拉绳牵引方式。首先锚固定位冰，然后在标记的位置打破冻结层，为确保施工人员的安全，施工技术人员用绳子固定锚，站在岸边，用绳子拉着冰车到桩锚上，拉着冰车，并使用弦拖拽钢筋定位，然后牵引拉入水底。

(4) 工程造价的控制

以上述漂浮式系统为例，浮筒在光伏板的承载框架和水上管道之间起了主要作用。浮筒由工厂定制大批生产，但费用比较昂贵，通常情况下的单位千瓦浮筒费用是光伏板的一半，但对于水面光伏电站来说是可以接受的，因为水面光伏电站省去了征地费用。另外，也可以考虑采用水力发电厂中现有的升压电厂，由于省去了升压电厂的建造，这也可降低施工费用，并以此补偿由于浮筒较为昂贵而使整体造价高的问题。

结束语

由于土地资源的短缺，在水上安装光伏发电系统也受到了更多的关注。漂浮式水面光伏电站有许多优势，比如可以降低土地成本，同时使用水体对光伏阵列进行冷却，不但能够增加电能输出，还能够降低风冷、水冷等额外散热装置的生产成本。但在大面积普及以前，还必须克服一系列的关键技术问题，并做好针对性方案设计工作。[EA](#)

(收稿日期：2022-08-24)

参考文献

- [1] 翟学，郭紫昱，曲名新，等．分布式光伏发电系统接线方案优化[J]．电气应用，2020，39(12): 87-93.
- [2] 陶苏朦，汤奕，朱红勤，等．融合多元信息的含光伏电网风险量化评估方法[J]．电气应用，2020，39(4): 57-66.