

漂浮式光伏系统受力安全分析

李伦

中国电建集团江西省水电工程局有限公司

[摘要]水上漂浮式光伏发电系统是一个新概念,目前在市场上还没有得到推广。对比了水上漂浮式光伏发电,地面光伏发电以及屋顶、幕墙分布式光伏发电的优缺点,漂浮式光伏系统覆盖水面大,浮体、马道形状复杂,流体流动速度快、流动复杂,采用传统的经验公式方法计算受力可能存在一定误差。为此,基于某光伏项目,采用计算流体力学方法计算受力,通过风、流和风流耦合工况下的实际尺度模型CFD计算模拟,计算了风速25 m/s、流速3 m/s下浮体系统的受力,预报了漂浮式光伏系统方阵的整体受力情况。

[关键词]漂浮光伏系统;水动力数值仿真;锚固方案

[DOI] 10.12252/j.issn.2096-6288.2020.04.1285

一、水上漂浮式光伏发电系统概述

水上漂浮式光伏发电系统是一个新概念,目前在市场上还没有得到推广。水上漂浮式光伏发电系统最大的特点是可以安装在海洋、湖泊(包括咸水湖)、河流(包括季节性旱涝河流)、水库、鱼塘、灌溉池、蓄水池甚至废水处理池等处;此外,市场上常用的光伏组件(如晶体硅组件)的功率输出随着温度的升高而降低,而水上漂浮式光伏组件的温度明显低于地面或屋顶光伏组件,从而能输出更高的功率;同时,水上漂浮式光伏发电系统还可以减少水面蒸发量,抑制藻类繁殖,保护水资源。

二、光伏系统受力计算与分析

(一) 计算建模

计算实施在一个仿物理的数值水池中进行,几何模型放置于水池中央。选取计算的特征长度 L 为三个马道间的距离,约为4.5 m;计算域确定为模型前方 $3L$,模型尾流 $0.6L$,模型左右两侧分别 $3.0L$,水面以上 $1.0L$ 。

(二) 水流、风、风流耦合三种工况比较

通过多组小模型计算,发现风流耦合模型的结果安全系数更高,因此后续研究直接采用风流耦合模型进行模拟计算。以2列4排的工况(排数和列数按光伏板和来流方向为参考,沿来流方向分布4块光伏板,在平面内垂直来流方向分布2块光伏板)为例。

(三) 系统风流作用下外载受力分析

在有来流时,系统第一排前沿形成兴波,兴波的波谷位置恰好与第二排的位置重叠,此时第二排的吃水较浅或不吃水,因此受到来流的影响最小;来流在第三排再次达到静水水位,由于第一排的阻碍作用,自第三排向后各排受到的来流影响较平均,但有波动,因此纵向受力也随着排数的增加而波动并趋向于一个稳定值。

系统垂向受力主要为浮力。因为第二排的吃水较浅或湿表面积减小,所以第二排的垂向受力也较小。平均垂向受力也随着排数的增加而逐渐增大并趋向于一个稳定值。

假设第一排和第二排每两个模块组件的合力不变为 x ,第三排以后每个模块单元的受力为 y ,则通过表中数据可作最小二乘回归,即对于 F_x 可回归得到 $x=655.89$ N, $y=440.60$ N,因此可估计整个系统所受的纵向力为 $132x+132(65-2)y=3750.65$ kN。对于垂向力 F_z ,可回归得到 $x=1061.88$ N, $y=236.71$ N,因此可估计整个系统所受的垂向力为2108.65 kN。

三、锚固方案分析

漂浮式光伏系统受到的水速为3 m/s,风速为25 m/s,方向与水流方向一致。根据以上计算的风力和流力最大的合力为沿来流方向在整个系统上的平行于水面的风力和流力合力,大小为387.3 t。漂浮式光伏系统方阵尺寸为223.813 m×91.514 m,四周总边长为630.654 m,锚固方案可采用系统四周锚固,每个锚块重3.5 t,共约需390个锚块,最终配套390条锚链。朝北和朝南各用130条锚链,东北各用63条锚链,另外在四角各斜拉1条锚链。

通过计算,可得漂浮式光伏系统朝北拉的每根锚链线张力为3 t,相应锚链水平张力为2.97 t,加上东西两侧拉的锚链、朝

南拉的锚链及四角的4根锚链所提供的与风流方向一致的水平张力,正好为387.34 t,与风流最大合力相抵消,保持整个漂浮式光伏系统受力平衡。

四、注意事项

(一) 施工平台与水面的落差控制

由于水库水位处于缓慢涨落的循环中,最大涨落幅度达1 m以上,故施工平台与水面的高差是控制重点。平台搭设前与水利管理部门沟通,了解清楚目前的水位处于哪一阶段,近期内将要补水还是泄水,如处于补水期,以施工平台高于水面30 cm为宜,如处于泄水期,以施工平台入水10 cm为宜;对于水位变化引起的施工平台与水面落差较大的情况,应将临时拼装的设备浮体组装成约1m宽的平台附于施工平台侧面作为过渡,防止光伏漂浮系统在入水时因落差过大造成浮体连接耳部损坏。

(二) 锚固系统安装

锚块抛投前按照锚块设计坐标提前进行定位及水深测绘工作,计算锚固钢丝绳长度,防止出现长度不够或太长浪费现象;钢丝绳套的绳卡数量为3个,绳卡压板朝锚绳主线方向,绳卡间距不应小于6倍钢丝绳的直径,压板卡槽与钢丝绳捻绞方向相反;钢丝绳浮球体积足够承载整根钢丝绳重量,防止水位上涨后浮球沉入水底;组件方阵拖至指定位置后,临时锚固点数量必须大于正式锚固点的50%,防止突发大风天气导致浮体被吹跑。

(三) 电缆浮体的连接

交流电缆在箱变与光伏阵列连接处的路径弯曲较多,现场设计的电缆浮体宽度较小,浮力足够但在弯曲路径上由于水面起伏晃动易导致电缆翻入水中。经过现场讨论研究,在电缆浮体之间增加不锈钢铰接过渡,使浮体能够随水面起伏自由活动,解决了电缆翻入水中的问题。

五、结语

(1)在水速3 m/s和风速25 m/s共同作用下,光伏系统单个模块的上拔力基本与重力平衡;水平拉力的平均值为0.44 kN,第一排模块受水平力最大值约为0.7 kN,即70.9 kg,远小于第三方认证机构测试数据所得的浮筒单个耳朵可承受的1.3 t极限拉力。

(2)根据水动力数值仿真的受力计算和分析,初步给出了一套可靠的锚固方案,足以应对3 m/s水速和25 m/s风速共同作用下的恶劣外部环境。此外,根据实际情况,可通过选用直径稍大的锚链来减少锚链数。

(3)水动力数值仿真分析得到迎流第一排光伏模块受水流影响较大,后续模块受力减小并趋于稳定,可推断整个电站排布中其他套光伏系统所受的作用力也在安全范围内。锚固方案分析得到的由北向南整个漂浮式光伏系统位移最大为0.4 m,远小于每套光伏系统间的距离,可确保光伏系统间有足够安全的距离。

参考文献:

- [1]吴继亮,梁甜,糜文杰,等.水上漂浮式光伏电站的发展及应用前景分析[J].太阳能,2019(12):120-23.
- [2]袁万,王磊,张源.水上漂浮式光伏系统结构设计研究[J].武汉大学学报(工学版),2017,50(S1):258-262.