

团 体 标 准

T/CPIA 0017—2019

水上光伏发电系统设计规范

Code for design of water photovoltaic power system

中国光伏行业协会
China Photovoltaic Industry Association

2019-09-27 发布

2019-10-15 实施

中国光伏行业协会 发布

目 次

前言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义及符号.....	2
3.1 术语.....	2
3.2 符号.....	3
4 基本要求.....	4
5 站址选择.....	4
6 太阳能资源分析.....	4
7 站区布置.....	5
7.1 站区总平面布置.....	5
7.2 光伏方阵布置.....	5
7.3 站区设备监测及安全防护措施.....	6
8 电气.....	6
8.1 一般规定.....	6
8.2 电气主接线.....	6
8.3 光伏发电单元.....	6
8.4 电气一次设备.....	7
8.5 电气二次设备.....	7
8.6 接地.....	7
8.7 电缆选择与敷设.....	7
9 结构与建构物.....	8
9.1 一般规定.....	8
9.2 桩柱一体基础与结构.....	8
9.3 漂浮基础与结构.....	8
9.4 设备平台.....	9
9.5 漂浮光伏发电系统的锚固.....	9
9.6 建构物.....	10
9.7 给排水.....	10
9.8 消防及火灾报警.....	10
10 水资源与环境保护.....	10
11 劳动安全、职业健康与卫生.....	11
附录 A（资料性附录） 风、浪、流载荷计算.....	12

前 言

本标准根据 GB/T 1.1-2009 给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国光伏行业协会标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：羲和电力有限公司、中国电子技术标准化研究院、北京鉴衡认证中心有限公司、中国三峡新能源有限公司、长江勘测规划设计研究有限责任公司、诺斯曼能源科技（北京）股份有限公司、通威股份有限公司、北京大学南京创新研究院、远东电缆有限公司、河北能源工程设计有限公司新能源院。

本标准主要起草人：顾华敏、邓霞、裴会川、冯亚彬、王赶强、纪振双、王芳、贝耀平、喻洋、刘海波、喻飞、李大伟、高超、揭念兵、吴小平、张吉、王亮、董晓青、田顺庆、汤志辉、刘培良、闫丽莉。



水上光伏发电系统设计规范

1 范围

本标准规定了水上光伏发电系统的术语和定义及符号、基本要求、站址选择、太阳能资源分析、电气、结构与建构筑物、水资源与环境保护、劳动安全、职业健康与卫生等。

本标准适用于新建、扩建或改建的水上并网或 100kWp 及以上水上独立光伏发电系统，包括桩柱一体结构式水上光伏、漂浮式水上光伏等。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 2408-2008 塑料燃烧性能的测定 水平法和垂直法
- GB/T 19666-2005 阻燃和耐火电线电缆通则
- GB 50009-2012 建筑结构荷载规范
- GB 50016-2014 建筑设计防火规范
- GB 50140-2005 建筑灭火器配置设计规范
- GB 50229-2006 火力发电厂与变电站设计防火规范
- GB/T 50662-2011 水工建筑物抗冰冻设计规范
- GB 50797-2012 光伏电站设计规范
- GB 51101-2016 太阳能发电站支架基础技术规范
- JGJ 94-2008 建筑桩基技术规范
- JTS 165-7-2014 游艇码头设计规范
- SL 274-2001 碾压式土石坝设计规范
- T/CPIA 0016-2019 水上光伏发电系统用高密度聚乙烯浮体

3 术语和定义及符号

下列术语和定义及符号适用于本文件。

3.1 术语

3.1.1

水上光伏发电系统 water photovoltaic power system

在水面上利用太阳电池的光生伏特效应，将太阳辐射能直接转换成电能的发电系统。

3.1.2

桩柱一体结构式水上光伏发电系统 piling structure water photovoltaic power system

采用桩柱一体结构式安装光伏方阵的水上光伏发电系统。

3.1.3

漂浮式水上光伏发电系统 floating photovoltaic power system

采用浮体安装光伏方阵的水上光伏发电系统。

3.1.4

浮体 floating body

在漂浮式水上光伏发电系统中，具有支撑作用，使光伏发电系统整体漂浮于水面之上的部分，即为漂浮在水面上用于安装光伏发电系统（包括光伏组件、汇流箱、组串式逆变器、电缆等）的漂浮系统的单元。

3.1.5

漂浮式设备平台 floating equipment platform

漂浮在水面上用于安装逆变器、变压器、配电装置等电气设备的漂浮平台。

3.1.6

锚固系统 anchorage system

通过锚绳（系泊缆）或撑杆将漂浮式水面光伏方阵或漂浮式设备平台与锚固点连接，使漂浮式水面光伏方阵或漂浮式设备平台具有抵御一定环境条件的能力，保证设计环境条件下的方阵稳定性及安全性。又称系泊系统。

3.1.7

锚固点 anchorage point

为锚固系统提供水平力及竖直力的固定结构物。

3.1.8

锚绳 anchor rope

连接锚固点与漂浮式水面光伏方阵或漂浮式设备平台的绳索。

3.1.9

连接件 connector

安装于光伏方阵浮体上，作为转接件用来连接锚绳与阵列，保护方阵浮体的构件。

3.1.10

浮体支架一体式 floating body integrated bracket

浮体及支架通过工艺形成一体成品，作为光伏组件的支撑体。

3.1.11

浮体+支架式 floating body attached bracket

浮体上安装支架形成光伏组件的支撑体。

3.2 符号

3.2.1 风荷载

W_k ——风荷载标准值 (kN/m^2);

μ_s ——风荷载体型系数

μ_z ——风压高度变化系数

W_0 ——基本风压 (kN/m^2)

W ——风荷载设计值 (kN/m^2)

A ——计算面积 (m^2)

K ——方阵修正系数

ρ_0 ——空气密度 (kg/m^3)

V ——平均最大风速 (m/s) (漂浮系统附近的空旷地面, 离地 10m 高, 重现期 25 年 10min.)

3.2.2 波浪荷载

F_e ——等效风区长度 (m)

r_i ——在风向两侧各 45° 范围内, 每隔 Δa 由计算点引到对岸的射线长度 (m)

α_i ——射线 r_i 与主风向上射线 r_0 之间的夹角 ($^\circ$)

\bar{H} ——平均波高 (m)

T ——平均波周期 (s)

V ——计算风速 (m/s)

F ——风区长度 (m)

d ——水域的平均水深 (m)

g ——重力加速度 (m/s^2);

t_{\min} ——风浪达到定长状态的最小风时 (s)

F_w ——作用于漂浮系统光伏方阵的波浪力 (kN)

F_0 ——作用于方阵上的波浪荷载标准值 (kN/m^2)

A ——漂浮系统光伏方阵第一排浮体水下部分垂直于水流方向的投影面积 (m^2)

3.2.3 水流力

F ——作用于浮筒上的水流力 (kN)

C_d ——水流阻力系数

V ——水流速度 (m/s), 水流速度 V 取浮体所处范围内可能出现的最大平均流速。

A ——漂浮系统光伏方阵第一排浮体水下部分垂直于水流方向的投影面积 (m^2)

K ——方阵修正系数

4 基本要求

4.1 水上光伏发电系统设计的基本要求应符合 GB 50797-2012 中第 3 章的规定。

- 4.2 水上光伏发电系统设计须满足安全性、可靠性、环境友好性、经济合理性，并优先采用新技术、新工艺、新材料。
- 4.3 水上光伏发电系统设计应考虑风速、水位升降、盐雾、冰雪等自然气象的影响。
- 4.4 水上光伏发电系统设计时应考虑水域的环境保护和防洪、灌溉、船只航行、水产养殖、种植等进行评估。
- 4.5 水上光伏发电系统设计时应考虑所在区域站址及周围区域的工程地质稳定性进行分析，当利用采矿沉陷区水域时应进行工程地质稳定性评估并形成专题报告。
- 4.6 水上光伏发电系统设计使用年限应不低于 25 年。

5 站址选择

- 5.1 水上光伏发电系统设计的站址选择规定应符合 GB 50797-2012 中第 4 章的规定。
- 5.2 选址宜使用采矿废弃坑塘水面、采矿沉降形成的水域，宜推广光伏与渔业养殖相结合综合经济社会效益较高的项目。
- 5.3 未经环境、水利等相关机构的批复和许可，水上光伏不应建在饮用水源、湿地保护区、国家公园风景区。
- 5.4 选址应符合当地产业发展和土地利用等相关规划。场址宜交通、通讯便捷；排灌方便，不易发生旱、涝灾害。用于渔光互补项目站址应水源充足，水质良好，土壤没有对养殖产品造成危害的沉积物和残留物，土壤质地宜为粘质土或壤土、砂壤土，土壤 PH 值应在 5-9.5 之间。
- 5.5 桩柱一体结构式水上光伏系统不应选址在采矿沉降非稳定区。
- 5.6 水上漂浮式光伏发电系统设计的站址宜选取水流速度小于 1m/s 的水域，并且不宜选址在远海域、航道上、行洪区以及台风频繁地区、易干旱露底水域。

6 太阳能资源分析

- 6.1 水上光伏发电系统的太阳能资源分析可参考 GB 50797-2012 中第 5 章的规定，结合项目所在地气象实测数据以及附近光伏电站实际数据。
- 6.2 当对水上光伏发电系统进行太阳能总辐射量及其变化趋势等太阳能资源分析时，应考虑水面反射、水域环境温度、光伏组件散热条件等因素分析。
- 6.3 依据太阳能辐照计算发电量时，应依据项目所在地水冲洗条件以修正灰尘遮挡损失的系数。

7 站区布置

7.1 站区总平面布置

- 7.1.1 水上光伏发电系统的站区总平面布置应根据电站生产运维、建设施工的需要，结合站址及附近的自然条件和建设规划，统筹设计、立足近期，远近结合。

7.1.2 光伏阵列布置对阳光的遮挡不应在水域生态有较大不利影响。渔光互补项目应符合水体生物养殖的阳光需求，应预留鱼道沟投食捕捞区等位置。

7.1.3 站区运维检修通道可为水面航道、堤坝道路、栈桥等型式，并宜综合考虑水体养殖等综合利用通道。

7.1.4 水上光伏发电系统设计宜考虑灰尘、鸟粪等污染物的清洗运维措施。

7.1.5 渔光互补项目建设期间临时施工道路宜采用钢板等临时措施，如采用砂石道路不宜使用建筑垃圾，电站建设完成后应可恢复。

7.1.6 光伏电站的升压站、开关站、集控室等宜布置在陆地，经技术经济比较后也可采用点式或集中式水上桩基平台。技术经济合理的还可采用漂浮式升压站、开关站。

7.1.7 水上光伏电站专用水域应考虑进、排水设施。

7.1.8 在风浪较大水域和近海区域，漂浮式光伏方阵应考虑防浪措施。

7.2 光伏方阵布置

7.2.1 桩柱一体结构式水上光伏发电系统宜采用当地最佳倾角正南布置，也可选用平单轴、斜单轴跟踪支架系统。漂浮式水上光伏电站可采用较小倾角正南布置组件，也可较小倾角人字形东西向双坡布置组件。

7.2.2 桩柱一体结构式水上光伏发电系统中的子系统升压箱变、集中式/集散式逆变升器宜沿岸边或堤坝道路布置；漂浮式光伏发电系统中子系统升压变压器可采用漂浮式设备平台布置于水面之上。

7.2.3 漂浮光伏发电系统各方阵之间间距应综合考虑水位变化、锚固系统裕度、运维船只通行等因素，确保在最不利情况下不会发生碰撞或搁浅现象。漂浮系统下部最小水深不宜小于 1m。当最小水深小于 0.5m 时，应设法对水域补水，确保该水域水位不再下降或采取其它措施防止光伏发电系统结构的破坏。

7.2.4 漂浮式光伏方阵及漂浮式设备平台应保证最低水位时浮体底部距离水底的安全距离不小于 0.5m。

7.2.5 站区运维通道设计应考虑所有电气设备的运维检修、组件清洗等情况，漂浮式光伏发电系统的水上检修运输通道宽度不宜小于 10m。

7.2.6 漂浮光伏发电系统工艺管线的敷设方式应符合下列要求：

- a) 工艺管线宜沿浮体结构布置；
- b) 电缆敷设应充分考虑浮体浮动及偏移等影响，留有足够裕度。
- c) 电缆敷设在浮体上应采用穿波纹管或桥架敷设，桥架与浮体之间应采取防磨损措施。

7.3 站区设备监测及安全防护措施

7.3.1 水上光伏电站宜设置安全防护设施，该设施宜包括：入侵报警系统、视频安防系统和出入口控制系统，并能够相互联动。漂浮式水上光伏电站还应设置水位监测、水质监测系统等，并联动报警进排水装置，功能要求应符合 GB 50797-2012 中 7.3 章的规定。有条件可监测的设施及设备宜建立工况监测及预警系统并制定应急预案。

7.3.2 站区四周宜设置岸上围栏、水中隔离围栏或连续标识物。

8 电气

8.1 一般规定

8.1.1 电气系统配置及设备选型应做到技术先进、安全可靠、经济合理。

8.1.2 水上光伏发电系统无人值班，少人值守。

8.1.3 水上光伏发电系统逆变器端应实现漏电保护。

8.2 电气主接线

水上光伏发电系统的电气主接线的设计应符合 GB 50797-2012 中 8.2 的规定。

8.3 光伏发电单元

8.3.1 水上光伏发电系统的光伏发电单元的设计应符合 GB 50797-2012 中 6.4 的规定。

8.3.2 水上光伏发电系统的组件应具备防潮功能，安装在近海区域还应具备防盐雾功能，宜采用双玻组件或抗 PID 性能好的组件。

8.3.3 水上光伏系统应结合经济技术比较后选择相应的逆变器。当组件不具备防 PID 效应功能时，应采用具有防 PID 功能的逆变器或系统方案。

8.3.4 桩柱一体结构式水上光伏发电系统、平单轴、斜单轴跟踪支架系统、浮体+支架可采用双面发电组件；当组件倾角小于最佳倾角，组件最低点距离水面高度小于 30cm 时，不宜采用双面发电组件。浮体支架一体化不宜采用双面发电组件。

8.3.5 漂浮式光伏发电系统的汇流箱、组串式逆变器应能够满足太阳长期直射下的工作环境，且应具备在无遮挡条件下防雨、防水的功能，否则应采取其它防护措施。

8.3.6 水上光伏方阵的所有设备防护等级要求不得低于 IP54，汇流箱、组串式逆变器防护等级要求宜不低于 IP65。

8.3.7 应根据项目规模、水面情况、技术及经济比较，确定漂浮式光伏方阵的一个升压变系统单元。当项目规模较大时，宜采用 2MW 及以上规模组成一个升压变系统单元。

8.3.8 漂浮式光伏发电单元宜按规则的矩形布置，集中/集散式逆变器、箱变置于水中时，宜置于发电单元的几何中心，并将发电单元分为接近容量的两个半区。

8.4 电气一次设备

8.4.1 水上光伏发电系统的变压器的设计应符合 GB 50797-2012 中 8.1 的规定。

8.4.2 当采用油浸变压器应设置 100%挡油设施，以防变压器漏油污染水体。

8.5 电气二次设备

水上光伏发电系统的电气二次的设计应符合 GB 50797-2012 中 8.7 的规定。

8.6 接地

8.6.1 桩柱一体式光伏发电系统，排水施工时应在土壤中设置接地干线和垂直接地极；水上作业施工时宜沿支架设置接地干线，垂直接地极宜埋设进入土壤中。

8.6.2 漂浮式光伏发电系统应在每个漂浮方阵四周、电气设备主通道设置接地干线，接地干线宜采用铜包钢、接地电缆等，可在水中设置垂直接地极。

8.6.3 桩柱一体式光伏系统组件间宜采用不小于 4mm^2 的接地电缆，设备接地宜采用不小于 16mm^2 的电缆，主接地网宜采用不小于 100mm^2 的镀锌扁钢。

8.6.4 漂浮式光伏发电系统组件间宜采用不小于 4mm^2 的接地电缆，设备接地宜采用不小于 16mm^2 的电缆，主接地网宜采用不小于 50mm^2 的铜包钢、接地电缆。

8.6.5 接地电阻应小于 4Ω 。

8.6.6 电气设备应可靠接地，有边框的组件之间应采用多股软导线相接，也可通过双刺垫片连接至支架系统，并接至接地干线。

8.6.7 漂浮式光伏发电系统中接地用连接线或电缆应考虑浮体波动及水位变化的影响。

8.7 电缆选择与敷设

8.7.1 水上光伏发电系统的光伏组串直流出线端电缆，根据使用环境，应具有耐紫外线、阻燃的特性。

8.7.2 变压器升压后并网的电缆选型应根据预先设计的施工敷设环境进行确定。

8.7.3 桩柱一体式桥架沿电缆桥架、电缆线槽敷设，电缆桥架和电缆线槽距离水面的高度应能满足电缆不长期浸泡于水中的要求。

8.7.4 漂浮式光伏发电系统的高压集电线路电缆可采用轻型浅海湖泊电缆直接沉入水底敷设，电缆应采取有效措施确保两端头的密封性。

8.7.5 漂浮光伏发电系统宜选用 C 类阻燃电缆，方阵之间电缆敷设时应采取分区防火阻燃分隔措施。

8.7.6 电缆选择沿水面敷设，应优先考虑电缆的耐紫外线、防水及阻燃性能。电缆阻燃等级应至少满足 C 类阻燃，符合 GB/T 19666-2005 中第 5 章的规定。电缆设计应在满足环境使用要求的基础上尽可能的降低电缆自重，可选用铝合金导体电缆。在选择铝合金导体电缆时应采用铜-铝合金过渡端子进行电器元件连接。

8.7.7 高压集电线路电缆沿水面并排敷设时，电缆之间应有间隔措施防止磨损。

8.7.8 水底敷设电缆水面上应有路径标志及警示标识。

8.7.9 在方阵之间、方阵与岸之间采用浮体作为漂浮的电缆通道时，电缆敷设时应留足够的裕量，在方阵之间、方阵与岸间距离最远时，水中漂浮的电缆不应绷紧而承受拉力，电缆皮应不开裂，线芯应不断。

9 结构与建构筑物

9.1 一般规定

9.1.1 水上光伏发电系统基础的选型应考虑地质稳定性，并应综合考虑水深、淤泥层厚度等因素，综合经济技术比较，综合考虑施工、运维，综合考虑风荷载、雪荷载。

9.1.2 漂浮光伏发电系统中光伏方阵用浮体及水上设备平台的浮力应能承受风荷载、雪荷载、恒荷载、检修荷载。

9.1.3 基础形式的选取应综合考虑站址内的地形、地质条件、水文条件等。

9.1.4 基础的分析应综合考虑风速、地震力、波浪力、水流速、水土腐蚀性等因素。

9.2 桩柱一体基础与结构

9.2.1 桩柱一体结构光伏发电系统可采用混凝土预制桩或钢桩。

9.2.2 桩柱一体结构的桩长、桩径应按照 JGJ 94-2008 的规定，并综合考虑地质情况。

9.2.3 水上用支架宜采取合适的防腐措施，若采用热镀锌钢材，镀锌层厚度宜不小于 $65\ \mu\text{m}$ ，沿海地区支架热镀锌层厚度宜不小于 $80\ \mu\text{m}$ 。

9.2.4 桩柱一体结构应考虑抗冻胀性。

9.3 漂浮基础与结构

9.3.1 水域水深及淤泥深度不小于 8m，不宜采用桩柱一体结构式安装光伏方阵，宜采用漂浮式安装光伏方阵。

9.3.2 当采用漂浮式安装光伏方阵，水深宜大于 1m。

9.3.3 采矿沉陷的未稳定区宜采用漂浮式安装光伏方阵。

9.3.4 漂浮式水上光伏发电系统可采用浮体支架一体式或浮体+支架式。

9.3.5 浮体支架一体式的材质宜采用高密度聚乙烯（HDPE），并应防紫外线及阻燃，阻燃 HB 级应符合 GB/T 2408-2008 中第 8 章的规定。

9.3.6 浮体+支架式中，浮体的材质可采用高密度聚乙烯（HDPE）、混凝土、不锈钢或玻璃钢等，支架的材质可采用钢材、铝合金、玻璃钢、耐候钢等。

9.3.7 光伏方阵浮体的浮力计算应考虑风荷载、雪荷载、恒荷载（组件、浮体自重、支架、设备、电缆、桥架等）、检修荷载的组合。组合方式应符合 GB 50797-2012 中 6.8 的规定。

9.3.8 在寒冷结冰厚度不小于 5cm 的地区应检验浮体、浮台的抗冻胀性。

9.3.9 漂浮光伏浮体及支架系统要求应符合 T/CPIA 0016-2019 及 GB 51101-2016 的规定。

9.3.10 在可能发生严重干旱导致浮体、浮台搁浅的地区，应考虑不致浮体、浮台发生较严重破坏的措施。

9.4 设备平台

9.4.1 桩柱一体结构光伏发电系统中的组串式逆变器、交流汇流箱、直流汇流箱以及电缆桥架等电气设备可安装在桩柱体或支架上，或就近检修通道安装。设备最低点应高于 GB 50797-2012 中第 4 章规定的洪水位要求。

9.4.2 桩柱一体结构光伏发电系统中的集中式逆变器、箱式变压器可置于岸边或就近岸边水域放置，平台最低点应高于 GB 50797-2012 中第 4 章规定的洪水位要求。

9.4.3 漂浮光伏发电系统中的组串式逆变器、交流汇流箱、直流汇流箱等电气设备可采用专用设备浮体或光伏方阵通道浮体作为水上设备平台，应沿运维检修通道布置。

9.4.4 漂浮光伏发电系统中的集中式逆变器、箱式变压器，当采用漂浮式设备平台，材质可为钢筋混凝土浮台、钢制平台等。

9.4.5 漂浮式设备平台工作面距离水面宜不小于 300mm，并根据浪高采取防浪措施。

9.4.6 漂浮式设备平台的浮力计算应考虑风荷载、雪荷载、恒荷载（平台自重、设备、电缆、桥架等）、检修荷载的组合。组合方式应符合 GB 50797-2012 中 6.8 的规定。

9.4.7 配电室、升压站基础优先采用地面式，当采用漂浮式时，浮力及使用年限应满足设计要求。

9.5 漂浮光伏发电系统的锚固

9.5.1 漂浮式光伏方阵的环境载荷应综合考虑风载荷、浪载荷、流载荷、雪载荷和冰载荷等载荷类型，并应符合下列要求：

- a) 风荷载、雪荷载计算参考 GB 50009-2012 中第 6 章、第 7 章的规定，风荷载标准值计算可参见附录 A；
- b) 波浪荷载参考所在水域或附近水域水文资料时，应按 25 年一遇确定波浪参数；若无相关水文数据，可参照 SL274-2001 附录 A 的规定计算波高、波长及波周期；对于封闭式水域，设计阶段可忽略水流的影响；对于开放式水域、河流等，需要根据水流量、截面积等数据计算出水流速度；波浪荷载、水流力的计算可参见附录 A；
- c) 对于有结冰现象的水域需考虑冰载荷对浮体的影响，可参考相关水库冰载荷计算规范 GB/T 50662-2011 中第 4 章的规定。

9.5.2 锚固系统可进行受力系统模拟仿真计算来选择适宜的锚固方案和锚点布置。根据漂浮式光伏方阵环境载荷、锚固数量、锚绳布置角度、锚绳余量等设计参数进行仿真模拟计算，确定光伏方阵的设计系泊力、方阵偏移量及偏转角度等。

9.5.3 光伏方阵的锚固力分析应综合考虑风向、风速、波高、波长、水流速度、锚链长度、锚点与方阵的夹角等多种因素。

9.5.4 锚固力计算应复核浮筒抱耳、插销及连接件的强度。抱耳最大剪切力宜小于 0.5 倍的抱耳设计抗剪切力，抱耳最大拉力宜小于 0.8 倍的设计抗拉力；插销最大剪切力宜小于 0.5 倍的插销设计抗剪切力；连接件最大应力宜小于该材料的设计应力。

9.5.5 水下锚固可采用船锚锚固、混凝土锚块锚固、螺旋桩、水下锚桩等型式。有条件的宜使用岸堤着力方式。

9.5.6 水底有防渗层的水库采用的锚固方式不可破坏防渗层。

9.5.7 漂浮式设备平台与就近的光伏方阵浮体应综合考虑锚固系统。箱变浮台与光伏方阵距离不大于 3m，可采用撑杆连接锚固；分别独立设计锚固系统时，浮台与光伏方阵距离应不小于 3m。漂浮式设备平台系泊系统需校核平台的抗倾覆性。

9.5.8 锚固系统应满足水位变化的要求。

9.5.9 系泊缆形式的选择应综合考虑强度、腐蚀、老化等因素。锚固系统系泊缆可采用锚链、钢绳及合成纤维缆绳。系泊缆外可增加保护套。

9.5.10 系泊缆破断力应大于设计系泊力，宜为设计系泊力的 1.5~2 倍。

9.6 建构筑物

9.6.1 水上光伏发电系统的建构筑物设计应符合 GB50797-2012 中第 10 章的规定。

9.6.2 光伏电站建（构）筑物的布置应根据总体布置要求、站址地质条件、设备型号、电源进线方向、对外交通以及有利于站房施工、设备安装与检修和工程管理等条件，经技术经济比较确定。

9.6.3 水上光伏发电系统应明确项目所在的水质的腐蚀性，丰水期和枯水期的水位差。

9.7 给排水

9.7.1 水源选择

根据项目站区的周边环境、取水条件等因素综合考虑本工程生活用水水源。

9.7.2 给水系统

根据 GB 50016-2014 中第 8 章及 GB 50797-2012 中第 11 章的规定，设置生活、消防给水系统。

9.7.3 排水系统

根据项目站区的周边环境，排水系统主要包括生活污水排水系统及雨水排水系统等。

9.7.4 漂浮光伏发电系统的水域宜有补水措施。

9.7.5 桩柱一体结构光伏发电系统的水域宜有排涝措施。

9.8 消防及火灾报警

9.8.1 站区总平面布置

各建（构）筑物之间的防火间距均符合 GB 50229-2006 中第 10.2 章的规定。电站设置有 4 米宽的消防车道。

9.8.2 灭火器的配置

建构筑物内灭火器按 GB 50140-2005 中第 6 章的规定配置。

9.8.3 其他消防设施

开关站内设有成品消防区，内有一定数量的消防铲、消防铅桶等作为开关站公用消防设施。开关站其他电气设备房间的消防设施采用手提式化学灭火器及防毒面具。

9.8.4 水上光伏发电系统的消防及火灾报警应符合 GB 50797-2012 中 14.5 的规定。

9.8.5 漂浮式光伏方阵区域应考虑消防措施，可配备移动式水泵、水枪等。

10 水资源与环境保护

- 10.1 水上光伏发电系统应不破坏水域原有水系生态。
- 10.2 漂浮光伏方阵的布置应考虑水分蒸发等情况下的水资源动态平衡。
- 10.3 水域的遮光控藻技术可与漂浮式光伏发电系统技术综合考虑。
- 10.4 水上光伏发电系统应与水体养殖、种植综合考虑。

11 劳动安全、职业健康与卫生

- 11.1 水上光伏发电系统的劳动安全与职业卫生应符合 GB 50797-2012 中第 13 章的规定。
- 11.2 水上作业应穿救生衣。
- 11.3 水下作业应确保水域内无电流。



附录 A

(资料性附录)

风、浪、流荷载计算

A.1 风荷载

作用在漂浮系统结构上的风荷载标准值可按公式 (A.1) 计算:

$$W_k = K\mu_s\mu_zW_0 \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

W_k ——风荷载标准值;

μ_s ——风荷载体型系数;

μ_z ——风压高度变化系数;

W_0 ——基本风压。

作用在漂浮系统结构上的风荷载设计值可按公式 (A.2) 计算:

$$W = KW_kA \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

W ——风荷载设计值;

A ——计算面积, 光伏组件在正北侧垂直方向的投影面积;

K ——方阵修正系数, 根据流场模拟结果, 一般取 0.2~0.5, 具体取值参照 A.1 表。

表 A.1 不同风向光伏方阵的方阵修正系数

漂浮系统的光 伏方阵	风向			
	北风	南风	(偏)东风	(偏)西风
方阵北侧	0.4-0.5	0.3	0.3	0.3
方阵南侧	0.2-0.3	0.3-0.4	0.2	0.2
方阵东侧	0.2	0.2	0.2-0.3	0.2-0.3
方阵西侧	0.2	0.2	0.2-0.3	0.2-0.3

注 1: 光伏方阵中组件为正南方向布置。
注 2: 风向指主风向。
注 3: 偏向风综合考虑两个方向的方阵修正系数。

基本风压可按公式 (A.3) 确定:

$$W_0 = \frac{1}{2}\rho_0V^2 \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

W_0 ——基本风压, 单位为千牛顿每平方米 (kN/m^2)

ρ_0 ——空气密度, 单位为千克每平方米 (kg/m^3)

V ——平均最大风速, 单位为米每秒 (m/s)

注: 漂浮系统附近的空旷地面, 离地 10m 高, 重现期 25 年 10min。

当无实测资料时, 应按现行国家标准 GB50009-2012 中附录 E 的规定选用。

风荷载体形系数按 GB 50009-2012 中 7.3 的规定选用。

风压高度变化系数按 GB 50009-2012 中 7.2 的规定选用。

A.2 波浪荷载

A.2.1 参照 SL274-2001 中附录 A 计算波高、波长、波周期等波浪要素。

A.2.2 计算风浪的风速、风向、风区长度、风时与水域水深的取值，应符合下列规定：

- a) 风速应采用水面以上 10m 高度处的 10min 平均风速；
- b) 计算风浪的主风向宜在计算堤段处的向岸风的方位角中选定，其允许偏差为±22.5°；
- c) 当计算风向两侧较宽广、水域周界比较规则时，风区长度可采用由计算点逆风向量到对岸的距离；当水域周界不规则、水域中有岛屿或有转弯、汉道时，风区长度可采用等效风区长度 F_e 。见图 A.1， F_e 可按公式 (A.4) 计算确定：

$$F_e = \frac{\sum_i r_i \cos^2 a_i}{\sum_i \cos a_i} \dots\dots\dots (A.4)$$

$$a_i = i\Delta a$$

式中：

F_e ——等效风区长度 (m)

r_i ——在风向两侧各 45° 范围内，每隔 Δa 由计算点引到对岸的射线长度 (m)。

a_i ——射线 r_i 与主风向上射线 r_0 之间的夹角 (°)。计算时可取 $\Delta a = 7.5^\circ (i = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm 6)$ 。

d) 当风区长度 F 小于或等于 100km 时，可不计风时的影响；

e) 水深可按风区内水域平均深度确定。当风区内水域的水深变化较小时，水域平均深度可按计算风向的水下地形剖面图确定。

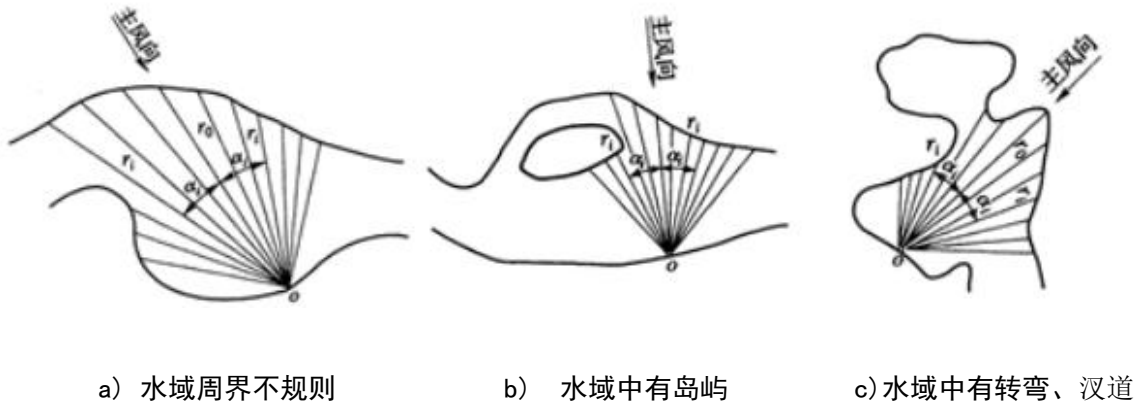


图 A.1 不同水域的等效风区

A.2.3 风浪要素可按公式 (A.5) ~ (A.7) 计算确定：

$$\frac{gH}{v^2} = 0.13th \left[0.7 \left(\frac{gd}{v^2} \right)^{0.7} \right] th \left\{ \frac{0.0018 \left(\frac{gF}{v^2} \right)^{0.45}}{0.13th \left[0.7 \left(\frac{gd}{v^2} \right)^{0.7} \right]} \right\} \dots\dots\dots (A.5)$$

$$\frac{gT}{v} = 13.9 \left(\frac{gH}{v^2} \right)^{0.5} \dots\dots\dots (A.6)$$

$$\frac{gt_{min}}{v} = 168 \left(\frac{gT}{v} \right)^{3.45} \dots\dots\dots (A.7)$$

式中：

\bar{H} ——平均波高 (m)

\bar{T} ——平均波周期 (s)

V ——计算风速 (m/s)

F ——风区长度 (m)

d ——水域的平均水深 (m)

g ——重力加速度 (m/s^2)；

t_{min} ——风浪达到定长状态的最小风时 (s)

A. 2. 4 不规则波的周期可采用平均波周期 \bar{T} 表示，按平均波周期计算的波长 L 可按公式 (A. 8) 确定。

$$L = \frac{g\bar{T}^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \dots\dots\dots (A. 8)$$

A. 2. 5 以波高、波长、波周期等为输入值，模拟计算作用于方阵的波浪力，见公式 (A. 9)。

$$F_w = F_0 A \dots\dots\dots (A. 9)$$

式中：

F_w ——作用于漂浮系统光伏方阵的波浪力 (kN)

F_0 ——作用于方阵上的波浪荷载标准值 (kN/m^2)，在浪高小于 0. 3m 时，根据流场模拟一般取 $2 kN/m^2$

A ——漂浮系统光伏方阵第一排浮体水下部分垂直于水流方向的投影面积 (m^2)

A. 3 水流力

参照 JTS 165-7-2014 附录 B 相关规定，计算作用漂浮系统光伏方阵的水流力，见公式 (A. 10)。

$$F = K C_d V^2 A \dots\dots\dots (A. 10)$$

式中：

F ——作用于方阵上的水流力 (kN)

C_d ——水流阻力系数，取 0. 8，该系数含量纲换算

V ——水流速度 (m/s)，水流速度 V 取浮体所处范围内可能出现的最大平均流速

A ——漂浮系统光伏方阵第一排浮体水下部分垂直于水流方向的投影面积 (m^2)

K ——方阵修正系数，根据流场模拟结果，一般取 5-10。