

ICS 27.160
CCS F12

团 体 标 准

T/JSERS XXXX-YYYY

大跨柔性光伏支架在渔光互补中应用规程 (征求意见稿)

Application Guidelines for Large-Span Flexible Photovoltaic Supports in
Fishing-Photovoltaic Complementary Systems

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

江苏省能源研究会 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	1
4 总体要求	2
4.1 大跨柔性光伏支架结构体系总体要求	2
4.2 渔光互补总体要求	3
5 规划设计	3
5.1 选址	3
5.2 渔光互补养殖池塘规划设计	4
5.3 大跨柔性支架光伏发电体系规划	4
5.4 大跨柔性支架结构体系设计	4
6 运维与渔业养殖	6
6.1 光伏电站运维	6
6.2 渔业养殖	7
7 验收	7

前 言

本文件按照《标准化工作导则》（GB/T 1.1-2020）第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草本文件。

本文件由江苏省能源研究会提出并归口。

本文件起草单位：国家电投集团江苏新能源有限公司、江苏中压电气工程集团有限公司、南京航空航天大学、江苏海洋大学、中国水产科学研究院淡水渔业研究中心、南京工程学院、中国能源建设集团江苏省电力设计研究院有限公司、上海明华电力科技有限公司、江苏省淡水水产研究所、南京交通职业技术学院。

本文件主要起草人：柯世堂、林权、蔡泽斌、张磊、孙圆、周强、柏嵩、徐永明、叶楼伟、钟春颖、孙苗苗、任贺贺、梁珂、张勤、张春伟、秦岩，王文才、田文鑫、李成、吴云、王立山、张祚键、吉春明、薛明华、黄鸿兵、陆士宏、蒋为根、吴建业、戴俊祥。

本文件首次发布。

大跨柔性光伏支架在渔光互补中应用规程

1 范围

本文件规定了大跨柔性光伏支架在渔光互补体系中应用的术语和定义、技术要求、规划、设计、运维检修与验收等方面的内容。

本文件适用于大跨柔性光伏支架在渔光互补中的规划、设计、建设、运维及相关管理工作。该标准旨在为相关企业、设计单位、施工单位及运维管理人员提供技术指导和规范依据，确保渔光互补系统的高效、安全和可持续运行。

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 11607	渔业水质标准
GB 50009	建筑结构荷载规范
GB 50011	建筑抗震设计规范
GB 50191	构筑物抗震设计规范
GB 50797	光伏发电站设计规范
GB/T 20014	良好农业规范 水产池塘养殖基础控制点与符合性规范
GB/T 22213	水产养殖术语
GB/T 38335	光伏发电站运行规程
GB/T 50796	光伏发电工程验收规范
NB/T 10115	光伏支架结构设计规程
SC/T 6048	淡水养殖池塘设施要求
SC/T 6056	水产养殖设施名词术语
T/CPIA 0047	光伏柔性支架设计与安装技术导则
DB32/4043	池塘养殖尾水排放标准
DB32/T 4540	水产养殖业污染物控制技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

渔光互补 fishing-photovoltaic complementary

在水体上方安装光伏发电系统，同时在水体中进行渔业养殖，充分利用水面资源，实现光伏发电与水产养

殖双重收益的生态农业模式。

3.2

光伏发电系统 photovoltaic generation system

利用光伏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。

3.3

渔光互补柔性光伏支架 fishing-photovoltaic complementary flexible photovoltaic supports

基于渔光互补系统设计的大跨柔性支架体系结构，包括预应力承重钢索和下部支承结构，具有明显的几何非线性特征，能够适应水体环境和渔业养殖的特殊需求。

3.4

集中捕捞区 centralized fishing area

在渔光互补养殖水体中，专门划分或构筑用于高效集中捕捞鱼类的特定区域，可优化捕捞作业流程，提高捕捞效率，确保养殖水体的可持续利用。

3.5

扰流装置 disturbance device

安装在大跨柔性光伏支架迎风侧的结构部件，通过干扰和改造来流的空气动力学特性，减缓风速、改变风向或分散风力，从而降低风荷载对光伏支架及组件的影响，提升系统的稳定性和安全性，并延长结构使用寿命。

3.6

纵横支撑 longitudinal and transverse bracing

在大跨柔性光伏支架体系中沿纵向和横向方向设置的连接结构，通过相互连接和协同作用分担和传递结构荷载，以增强支架的整体稳定性和抗变形能力，确保光伏支架在各种工况下保持稳固和安全。

3.7

智能健康监测系统 intelligent health monitoring system

基于现代信息技术、传感技术和数据分析技术，实时收集、监测和分析大跨柔性光伏支架体系运行状态的综合系统，旨在确保支架结构的安全性、稳定性和高效运行，及时发现并预警潜在的故障或异常情况，从而保障渔光互补系统的整体效能。

4 总体要求

4.1 大跨柔性光伏支架结构体系总体要求

- 4.1.1 大跨柔性光伏支架结构体系的设计使用年限应不少于25年，且不得低于光伏组件的设计使用寿命。
- 4.1.2 应依据项目所在地的地形地貌及风环境条件，合理选择大跨柔性光伏支架的跨度和高度。设计时应充分考虑风荷载系数、风压分布等参数，以确保支架结构在各种风力条件下的稳定性和安全性。
- 4.1.3 在结构设计中，应综合考虑发电效率、光伏板倾角和排间距等因素对结构安全性的影响，优化支架布局，以达到最佳的发电效率与结构稳定性之间的平衡。
- 4.1.4 结构体系应具有良好的经济性。应优先选择结构强度高、重量轻、工厂化程度高、加工方便且市场通用性强的材料和结构形式，以降低整体建设和维护成本。
- 4.1.5 结构形式应符合下列要求：
 - a) 支架结构宜采用分体式桁架结构，管桩连接方式宜采用集成式抱箍结构，并应具备可调节功能。预应力钢索与桁架的连接方式宜采用可调节式叉耳连接，以适应现场施工过程中管桩施工偏差较大的情况。
 - b) 宜采用三索（预应力钢绞线）固定方式，充分考虑结构的振动变形、风致疲劳及降载减振需求。纵横支撑体系宜采用固定式支撑件和锁具，以确保抗变形能力。
- 4.1.6 总体设计规划中，应充分考虑渔业养殖的需求和现场实际条件，统筹解决“光伏+”的综合效益问题，实现光伏发电与渔业养殖的协同发展。

4.2 渔光互补总体要求

- 4.2.1 渔光互补项目的建设应严格遵循国家关于土地利用的相关政策和法规，确保光伏发电与渔业生产的合法性。
- 4.2.2 渔光互补项目的建设应坚持渔光并举、统筹规划、因地制宜、综合利用、绿色环保及产业叠加发展的原则，提升资源利用效率，实现生态效益最大化。
- 4.2.3 光伏发电系统的规划设计应充分考虑渔业养殖的用电需求，优先采用“自发自用、余电上网”的模式，以提高能源利用效率，减少电力浪费。
- 4.2.4 光伏发电系统的设计应同时考虑渔业养殖的增产增效需求。在设计支架的跨度、排间距及遮光面积时，应确保这些因素满足养殖过程中对光照、通风、通氧及机械化作业的要求。
- 4.2.5 捕捞方式应在规划设计中充分考虑，宜采用“回”字形或“十”字形布局的渔道沟，以提高捕捞效率 and 操作便利性。
- 4.2.6 应根据项目的实际情况，对进排水系统进行合理规划设计，确保水体的循环利用和水质的稳定，为渔业养殖提供适宜的水环境。
- 4.2.7 根据养殖方式及规模，可因地制宜设置养殖尾水处理设施，确保水质符合DB32/ 4043、DB32/ T 4540规范的要求，促进水体生态系统的健康和稳定。
- 4.2.8 在施工过程中，应加强对隐蔽工程的监管，确保施工全过程的监控和质量验收。项目应在完成所有验收程序并达到合格标准后，方可投入使用。

5 规划设计

5.1 选址

- 5.1.1 应优先选择太阳能资源丰富、靠近变电站、交通便利且地块平整的养殖池塘作为光伏方阵的选址区域。
- 5.1.2 光伏方阵的选址应符合GB 50797的相关要求，确保符合光伏电站建设标准。

5.1.3 选址区域的水质、地质、气候及空气条件应满足渔业生产和光伏方阵安装的技术要求。

5.1.4 养殖水源应符合GB 11607的规定，确保水质条件适合养殖作业。

5.2 渔光互补养殖池塘规划设计

5.2.1 池塘设计应满足不同水产养殖品种的需求，宜采用“回”字形或“十”字形等布局方式设置渔道沟，渔道沟的面积宜占池塘总面积的2%~5%，其底部宜低于光伏阵列区域池塘底部0.8 m~1.2 m。

5.2.2 若条件不具备设置渔道沟的情况下，可设立局部捕捞区或集中捕捞区，确保养殖作业的高效进行。

5.2.3 光伏阵列在池塘水面上的遮蔽面积比例不宜超过60%，以确保渔业养殖的光照需求。

5.2.4 投饵区应充分考虑预留养殖水产品聚集需要的摄食空间，配备必要的增氧设施。

5.2.5 上水口应设置在水源质量较好的区域，下水口应设置在排水顺畅的区域，以保证水体循环的高效性。

5.2.6 为便于养殖区的用电供应，每亩池塘应因地制宜配备充足的增氧设备和给排水设备。

5.3 大跨柔性支架光伏发电体系规划

5.3.1 光伏方阵及其配套系统的规划设计应严格遵循GB 50797-2012的规定。

5.3.2 光伏支架应符合渔业生产的特殊要求，具备足够的结构强度和适应性。

5.3.3 柔性光伏阵列的净空高度应依据养殖品种、池塘面积及作业方式等因素确定，净空高度一般不宜低于埂面高度2 m。

5.3.4 大跨柔性光伏阵列的跨度宜设计为20 m、30 m、40 m或50 m的整数倍，最大连跨数不宜超过4跨。光伏方阵内跨距应均匀布置，边跨连杆与地锚之间应留有足够的安全距离，连杆角度不宜大于45°。

5.3.5 光伏组件的角度与方阵排间距应根据日照角度和季节变化合理布置，确保冬至日当地时间9:00至15:00光伏组件不被阴影遮挡。

5.3.6 预制管桩的长度应根据池底地质条件确定，确保其伸入岩层，以提供足够的支撑力。

5.3.7 支架构件宜工厂化预制，提高施工效率和安装精度。

5.3.8 水面以上的电缆及线路布设宜采用架空方式，以避免对水体的干扰。

5.3.9 光伏阵列的升压站、逆变器承台、汇流箱和电缆管线等配套设备，应高于当地防洪标高0.6 m以上，确保设施的安全性。

5.3.10 宜引入智能健康监测系统，对光伏支架的运行状态进行实时监测和维护。

5.4 大跨柔性支架结构体系设计

5.4.1 柔性光伏支架结构设计应包括下列内容：

a) 结构方案设计，包括结构选型、构件布置；

b) 材料选用及截面选择；

c) 作用及作用效应分析；

d) 结构永久荷载状态、设计荷载状态验算；

e) 结构、构件及连接的构造；

f) 对制作、运输、安装和防腐等的要求。

5.4.2 光伏组件的固定宜采用三索三角形（预应力钢绞线）固定方式。

5.4.3 桁架宜采用分体式设计，并与管桩通过集成式抱箍结构固定，以增强连接的灵活性与稳固性。

- 5.4.4 纵横支撑宜采用固定式三角形支撑件及锁具，确保整体结构的抗变形能力。
- 5.4.5 连接拉索宜采用叉耳结构形式，钢绞线的调节长度应满足 $\pm 0.5\text{ m}$ 的要求，以适应施工中的细微调整。
- 5.4.6 支架的连接处和节点应确保传力路径明确，并满足GB 50797中对承载力的要求。
- 5.4.7 大跨柔性支架应选用高强度、耐腐蚀的材料，其质量和性能应符合GB 50797的要求。
- 5.4.8 预应力钢绞线宜选用热镀锌材料，其抗拉强度设计应依据跨距、荷载及当地风环境经计算后确定。
- 5.4.9 支架的荷载取值应符合GB 50009和NB/T 10115的规定。
- 5.4.10 大跨柔性支架应进行包括恒载、活载、风荷载、雪荷载、地震荷载等不同工况的受力分析，以确保结构的可靠性。
- 5.4.11 计算结构构件时，垂直于光伏支架结构或光伏组件表面的风荷载标准值应按下式计算：

$$w_k = \beta_z \mu_s \mu_z K_{\mu_s} w_0 \quad (1)$$

式中：

w_k —风荷载标准值（ kN/m^2 ）；

β_z —风振系数；

μ_s —风荷载体型系数；

μ_z —风压高度变化系数，可按GB 50009取值；

K_{μ_s} —阵列干扰因子，考虑排和跨间的干扰，

w_0 —基本风压（ kN/m^2 ）。

风振系数、风荷载体型系数与阵列干扰因子宜通过相关规范标准或风洞试验确定。

- 5.4.12 柔性光伏支架结构设计时，应按承载能力极限状态计算结构和构件的强度、稳定性以及连接强度，应按正常使用极限状态计算结构和构件的变形。
- 5.4.13 大跨柔性光伏支架的强度、稳定性及变形应经过严谨的验算，并应符合GB 50797中的相关规定。
- 5.4.14 结构或构件按承载能力极限状态设计时，应采用作用的基本组合或偶然组合计算作用组合的效应设计值，并应采用以下设计表达式进行设计：

$$\gamma_0 S_d \leq R_d \quad (2)$$

式中：

γ_0 —结构重要性系数，可取1.0；

S_d —作用组合的效应设计值；

R_d —结构或构件的抗力设计值；在抗震设计时应除以承载力抗震调整系数 γ_{RE} ， γ_{RE} 应按GB 50011的规定取值。

- 5.4.15 结构或构件按正常使用极限状态设计时，应按以下设计表达式进行设计：

$$S_d \leq C \quad (3)$$

式中：

S_d —作用组合的效应标准值，如变形、裂缝等；

C —设计对变形、裂缝等现象的相应限值，应按各有关现行结构设计规范确定。

- 5.4.16 在极端工况下，大跨柔性光伏支架的跨中挠度不应超过 $L/50$ ，其中 L 为支架跨度。
- 5.4.17 非抗震设计时，荷载效应的基本组合应按以下式计算，取其不利值：

$$S_d = \gamma_G S_{GK} + \gamma_w \psi_w S_{WK} + \gamma_s \psi_s S_{SK} \quad (4)$$

式中：

S_d —荷载组合的效应设计值；

γ_G —永久荷载的分项系数，应按现行国家标准GB 50009的有关规定采用；

S_{GK} —永久荷载标准值的效应；

S_{WK} —风荷载标准值的效应；

S_{SK} —雪荷载标准值的效应；

γ_w 、 γ_s —风荷载、雪荷载的分项系数，可取1.4；

ψ_w 、 ψ_s —风荷载、雪荷载的组合值系数，风荷载为主导可变荷载时，风荷载组合值系数可取1.0，雪荷载组合值系数可取0.7；雪荷载为主导可变荷载时，雪荷载组合值系数可取1.0，风荷载组合值系数可取0.6。

5.4.18 抗震设计时，结构构件的地震作用效应和其他荷载效应的基本组合应按下列式计算：

$$S_d = \gamma_G S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{EhK} + \gamma_w \psi_w S_{WK} \quad (5)$$

式中：

S_d —地震组合的效应设计值；

γ_G —重力荷载的分项系数，宜取1.2；当重力荷载效应对构件承载能力有利时，不应大于1.0，当验算结构抗倾覆或抗滑时，不应大于0.9；

S_{GE} —重力荷载代表值的效应，应按现行国家标准GB 50191的有关规定确定；

γ_{Eh} —水平地震作用分项系数，可取1.3；

S_{EhK} —水平地震作用标准值的效应，应按现行国家标准GB 50191 的有关规定确定；

γ_w —风荷载作用分项系数，可取1.4；

ψ_w —风荷载的组合值系数，宜取0.2。

5.4.19 对于位于强风或台风多发地区的光伏阵列，宜在光伏方阵的外侧安装扰流装置，以减少风荷载的影响。

5.4.20 对于位于强风或台风多发地区的光伏阵列，宜通过安装、来流绕流装置、抗风稳定索、横向联系杆、抗风吸装置等降载减振措施保证光伏阵列体系的整体稳定性。

6 运维与渔业养殖

6.1 光伏发电站运维

6.1.1 光伏发电站的运行与维护应符合GB/T 38335-2019的要求。

6.1.2 定期对光伏组件、逆变器、汇流箱、电缆等设备进行巡检，及时发现并处理故障，确保设备正常运行。

6.1.3 建立健全安全管理制度，定期开展安全培训，落实安全防护措施，防止人身伤害和设备损坏。

6.1.4 利用智能健康监测系统，实时监测发电量、功率、设备状态等参数，进行数据分析，优化运行策略。

6.1.5 定期清洁光伏组件表面，保持周边环境整洁，防止灰尘、污物影响发电效率。

6.1.6 制定应急预案，及时应对突发事件，如自然灾害、电气故障等，确保人员和设备安全。

6.2 渔业养殖

- 6.2.1 渔业养殖应根据设计规划和养殖品种，因地制宜地进行管理，确保光伏发电与渔业养殖的安全、协调运行。
- 6.2.2 定期监测水温、溶解氧、pH值、氨氮、亚硝酸盐等水质指标，确保水环境符合养殖要求。
- 6.2.3 采用增氧设备、微孔增氧等技术，保持水体溶氧充足。
- 6.2.4 制定科学的饲料投喂计划，合理控制投喂量，防止饲料浪费和水质污染。
- 6.2.5 宜采用自动投饵机，提高投喂效率和精准度。
- 6.2.6 建立健全疾病防控体系，定期进行健康检查和预防性消毒。
- 6.2.7 及时隔离和处理病鱼，防止疾病传播。
- 6.2.8 引进机械化设备，如自动投饵机、机械增氧设备、自动捕捞装置等，提高养殖效率。
- 6.2.9 采用水质在线监测系统、养殖环境智能控制系统，实现智能化管理。
- 6.2.10 严格遵守安全生产规程，定期开展安全培训，配备必要的安全防护设备。
- 6.2.11 建立应急预案，及时应对突发事件。

7 验收

- 7.1 光伏发电系统的验收应符合GB/T 50796-2012的要求。
 - 7.2 渔业养殖设施应按照设计图纸和相关标准进行验收。
-