

T/CECS xxx-2022

中国工程建设标准化协会标准

光伏板支撑结构技术规程

Technical specification for photovoltaic-panel support structure

(征求意见稿)

中国建筑工业出版社

前 言

根据中国工程建设标准化协会《2017 年第一批工程建设协会标准制订、修订计划的通知》（建标协字〔2017〕014 号）的要求，规程编制组经广泛调查研究，深入分析和试验，认真总结实践经验，参考国内外相关技术标准，并在广泛征求意见的基础上，制订本规程。

本规程共分 7 章，主要技术内容包括：总则，术语和符号，材料，结构选型，结构分析，设计，以及施工、防腐与验收。

请注意本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利。本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会钢结构专委会归口管理，由清华大学土木系负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送清华大学土木系（地址：北京市海淀区清华大学何善衡楼；邮政编码：100084）

本 规 程 主 编 单 位： 清华大学

华电重工股份有限公司

本 规 程 参 编 单 位：

本 规 程 主 要 起 草 人 员：

本 规 程 主 要 审 查 人 员：

目 次

<u>1 总 则</u>	1
<u>2 术语和符号</u>	2
<u>2.1 术语</u>	2
<u>2.2 符号</u>	3
<u>3 材 料</u>	2
<u>3.1 钢材</u>	2
<u>3.2 连接材料</u>	2
<u>3.3 钢索</u>	3
<u>4 结构选型</u>	5
<u>4.1 一般规定</u>	5
<u>4.2 刚性支承结构</u>	6
<u>4.3 索支承结构</u>	7
<u>5 结构分析</u>	15
<u>5.1 一般规定</u>	15
<u>5.2 荷载与作用组合</u>	15
<u>5.3 拉索预应力计算</u>	16
<u>5.4 风荷载效应计算</u>	16
<u>6 设 计</u>	22
<u>6.1 一般规定</u>	22
<u>6.2 变形规定</u>	24
<u>6.3 刚性构件</u>	26
<u>6.4 钢索</u>	26
<u>6.5 节点</u>	27

6.6 地基基础	30
7 施工、防腐与验收	33
7.1 一般规定	33
7.2 制作	33
7.3 安装	34
7.4 防腐	35
7.5 验收	36
本规程用词说明	39
引用标准名录	40

Contents

1	General provisions	1
2	Terms and symbols	2
	2.1	2
	2.2	3
3	Materials	2
	3.1	2
	3.2	2
	3.3	3
4	Structural types choosing	5
	4.1	5
	4.2	6
	4.3	7
5	Structural analysis	15
	5.1	15
	5.2	15
	5.3	16
	5.4	16
6	Design	22
	6.1	22
	6.2	24
	6.3	26
	6.4	26
	6.5	27

<u>6.6 Foundations</u>	30
<u>7. Construction, corrosion prevention and acceptance</u>	33
<u>7.1 General requirements</u>	33
<u>7.2 Fabrication</u>	33
<u>7.3 Erection</u>	34
<u>7.4 Corrosion prevention</u>	35
<u>7.5 Acceptance</u>	36
<u>Explanation of wording in this specification</u>	39
<u>List of quoted standards</u>	40

1 总 则

1.0.1 为规范光伏板支承结构在工程建设中的应用，做到安全适用、技术先进、经济合理、方便施工、确保质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于新建、扩建或改建等光伏板支承结构设计、施工和验收。

1.0.3 光伏板支承结构的设计、施工和验收，除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

【条文说明】目前光伏板支架以刚性构件支承与索支承结构居多，故本规程主要规范这两类结构的设计、施工与验收等规定。光伏板索支承结构是最近十年发展较快的一种结构形式，其工程量应用快速增长，是本规程关注的重点。对于光伏板索支承结构，其要解决的核心问题是索结构的选型、风致动力效应计算与设计、索支承结构施工等。随着光伏板索支承结构跨度的增大，光伏板从早期的单索结构体系逐步向索桁架等组合结构体系发展，给索支承结构的设计增加了诸多选择。因此，本规程中也给出了许多索支承结构的类型，可供索结构设计时应用。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 光伏板 photovoltaic panel

一种以半导体材料（如硅）制成的薄身固体板、可以利用太阳能进行发电的装置。

2.1.2 刚性支承结构 rigid member-supported structures

以钢构件、钢-混凝土组合构件及混凝土构件作为光伏板主要支承单元的结构。

2.1.3 索支承结构 cable-supported structures

以钢索或拉杆为主要受力构件、用于支承光伏板的结构。

2.1.4 横向结构 structures subjected to transverse loading

在刚性结构中，横向结构指作用在光伏板面上的风荷载水平分力方向对应的承力体系。在索支承结构中，横向结构指索结构跨度方向对应的承力体系。

2.1.5 纵向结构 structures subjected to longitudinal loading

在刚性结构中，纵向结构指光伏板面上风荷载水平分力为零对应的承力体系，并与横向结构方向垂直。在索支承结构中，纵向结构指与索结构跨度方向垂直的承力体系。

2.1.6 单索结构 parallel cable structure

仅以水平独立平行设置的索组成的索结构。

2.1.7 自平衡索桁架 self-balancing cable truss

一种以拉索作为上下弦、钢梁为纵向构件、中间连接撑杆所组成的自平衡结构体系。

2.1.8 张弦梁 beam string structure

一种以刚性构件作上弦、柔性拉索作下弦、中间连以撑杆所组成的结构体系。

2.1.9 索桁架结构 cable truss

一种由三角形刚性支撑架（或连接索）、上下弦索、两端锚固结构组成的张拉结构体系。

2.1.10 承重索 bearing cable for resisting down load

索结构中用于承受重力荷载的下垂索称承重索。

2.1.11 稳定索 stable cable for resisting up-wind load

在索结构中用于承受风吸力或协同承重索共同受力的拉索称稳定索。

2.1.12 阻尼索 damping cable

在拉索中串联弹簧或设置其他阻尼元件的受拉构件，其一端与承重索连接，另一端与地面基础连接等。

2.2 符号

2.2.1 材料性能

E —— 索体材料的弹性模量；

F_{tk} —— 拉索的极限抗拉力标准值。

2.2.2 几何参数

L —— 光伏板索支承结构的跨度；

α —— 光伏板倾角。

2.2.3 计算指标

S_d —— 作用组合的效应设计值；

R_d —— 构件承载力设计值；

C —— 结构或结构构件达到正常使用要求的规定限值；

F —— 拉索的抗力设计值；

γ_0 —— 结构重要性系数；

γ_{RE} —— 构件承载力抗震调整系数；

γ_R —— 拉索的抗力分项系数；

γ_{pi} —— 拉索的预应力分项系数。

2.2.4 风荷载

w_0 —— 基本风压；

w_k —— 风荷载标准值；

β_z —— 高度 z 处的风振系数；

μ_s —— 风荷载体型系数；

μ_z —— 风压高度变化系数。

3 材 料

3.1 钢材

3.1.1 光伏板支承结构的钢材选用应符合现行《钢结构通用规范》GB 55006、《钢结构设计标准》GB 50017、《冷弯薄壁型钢技术规范》GB50018 中相关设计规定，其质量标准应分别符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 和《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 的规定，且质量等级不应低于 B 级。

3.1.2 支承结构需要进行抗震设计时，钢材力学性能指标应符合现行《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定。

3.1.3 支承结构采用冷弯型材时，钢材力学性能指标应符合现行《冷弯型钢结构技术规范》GB 50018 的规定。

3.1.4 处于外露环境且对耐腐蚀有特殊要求，或处于侵蚀性介质环境中的光伏板支承结构，可采用与第 3.1.1 条中相应强度等级的耐候结构钢，其质量应符合现行国家标准《耐候结构钢》GB/T 4171 和《焊接结构用耐候钢》GB/T 4172 的规定。

3.2 连接材料

3.2.1 光伏板支承结构中连接用螺栓的选用应符合下列要求：

1 根据使用要求不同，连接螺栓可以选用普通螺栓、摩擦型高强螺栓和承压型高强螺栓。螺栓选用应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的规定；

2 承受反复荷载作用的螺栓不应采用膨胀自锁连接形式。

3 根据使用环境不同，螺栓需做好相应的防腐设计和构造处理。

3.2.2 焊接材料的选用应与结构主材相匹配，并符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 和《钢结构焊接规范》GB 50661 的规定。

3.3 钢索

3.3.1 索支承结构的钢索可选用钢丝束、钢绞线、钢丝绳或钢拉杆,其性能与选用应符合现行行业标准《索结构技术规程》JGJ 257 的规定。

3.3.2 钢丝束的性能与选用应满足下列要求:

- 1 钢丝束宜采用半平行钢丝束,其质量、性能应符合现行国家标准《斜拉桥热挤聚乙烯高强钢丝拉索》GB/T 18365 的规定。
- 2 钢丝束的极限抗拉强度宜选用 1670MPa、1770MPa、1860MPa、1960MPa 等。

3.3.3 钢绞线的性能与选用应满足下列要求:

- 1 钢绞线可分别采用预应力混凝土用钢绞线、锌-5%-铝-稀土合金镀层钢绞线、不锈钢钢绞线或多根钢绞线组合截面形式。钢绞线的质量、性能应符合国家现行标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224、《高强度低松弛预应力热镀锌钢绞线》YB/T 152、《建筑结构用高强度钢绞线》GB/T 33026、《建筑工程用锌-5%-铝-稀土合金镀层钢绞线》YB/T 4542 的规定。

- 2 钢绞线的极限抗拉强度可选用 1570 MPa、1670 MPa、1720 MPa、1770 MPa、1860 MPa 或 1960MPa 等级别。

- 3 不锈钢绞线的质量、性能、极限抗拉强度应符合现行国家标准《不锈钢钢绞线》GB/T 25821 的规定。不锈钢钢绞线的极限抗拉强度可选用 1180MPa、1320MPa、1420MPa、1520MPa 等级别。

3.3.4 钢丝绳的性能与选用应满足下列要求:

- 1 钢丝绳的质量、性能应符合现行国家标准《钢丝绳通用技术条件》GB/T 20118 的规定,密封钢丝绳的质量、性能应符合现行行业标准《密封钢丝绳》YB/T 5295 的规定。

- 2 钢丝绳宜采用密封钢丝绳、单股钢丝绳截面形式。钢丝绳

应由绳芯和钢丝股组成，结构用钢丝绳应采用无油镀锌钢芯钢丝绳。

3.3.5 钢拉杆杆体的性能与选用应满足下列要求：

1 钢拉杆的质量、性能应符合现行国家标准《钢拉杆》GB/T 20934 的规定。

2 合金钢钢拉杆的屈服强度可选用 345MPa、460MPa、550MPa、650MPa、750MPa、850MPa、1100MPa 等级别。

3 不锈钢钢拉杆的杆体规定塑性延伸强度可选用 205MPa、400MPa、725MPa、835MPa、1080MPa 等级别。

3.3.6 索体材料的弹性模量宜由试验确定。在未进行试验的情况下，索体材料的弹性模量可按表 3.3.6 取值。

表 3.3.6 索体弹性模量

索体类型		弹性模量(N/mm ²)
钢丝绳束		$(1.9\sim 2.0) \times 10^5$
钢 绞 线	锌-5%-铝-稀土合金镀层 钢绞线	$(1.55\sim 1.65)\times 10^5$
	预应力混凝土用钢绞线	$(1.85\sim 1.95) \times 10^5$
钢 丝 绳	密封钢丝绳	$(1.55\sim 1.65)\times 10^5$
	单股钢丝绳	1.4×10^5
	多股钢丝绳	1.1×10^5
钢拉杆		2.06×10^5

【条文说明】钢索选用按照《索结构技术规程》JGJ 257 规定执行。

3.3.7 非低松弛索体（钢丝绳、不锈钢钢绞线等）在下料前应进行预张拉。预张拉力值宜取钢索抗拉强度标准值的 55%，持荷时间不应少于 1h，预张拉次数不应少于 2 次。

4 结构选型

4.1 一般规定

4.1.1 光伏板支承结构应根据其应用范围、工程类型、场地条件、荷载作用情况以及跨度要求等，选用下列结构形式：

- 1 刚性支承结构；
- 2 索支承结构。

4.1.2 光伏板支承结构的设计，除应考虑横向结构的强度、刚度 and 稳定性外，还应考虑纵向结构的强度、刚度和稳定性。

【条文说明】 对于光伏板支承结构，无论是刚性结构，还是索结构，均涉及到横向结构和纵向结构的承载力设计。对于光伏板刚性支承结构，横向结构的强度、刚度和稳定设计尤其重要；对于索支承结构，横向结构的设计，主要考虑竖向重力恒载、竖向活载以及风荷载作用的竖向效应，纵向结构主要包括边柱或中柱沿纵向形成的承重结构体系，主要用于承担光伏板风载作用的纵向水平分量。要特别注意，索结构的横向和纵向承力设计同等重要，均应满足强度、刚度和稳定计算要求。

4.1.3 刚性支承结构可以采用钢梁、钢柱、钢框（排）架、钢桁架、钢管混凝土及混凝土构件，适合应用于地势比较平坦的光伏板工程。

4.1.4 索支承结构对地形地势适应性较强，可以跨越河流、沟壑以及各种障碍物，适应建在山地、湖泊、鱼塘、河道、水处理厂等场地上空的光伏板工程。

4.1.5 在既有建筑屋面、屋顶或墙面上直接铺设光伏板，不应该影响建筑使用功能，同时应避免原屋面围护结构遭受破坏而引起开裂、渗漏等。

4.1.6 在既有建筑屋面、屋顶设置光伏板支承结构，应符合下列

规定:

1 当采用刚性支承结构时,应考虑支承结构生根对建筑主体结构的影响,应验算建筑主体结构强度、刚度和稳定承载力。

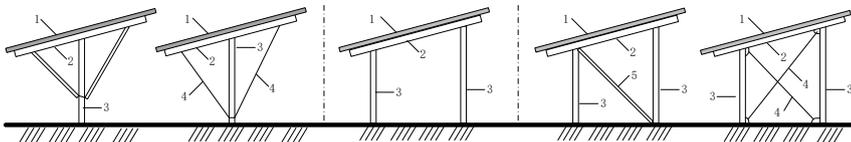
2 在建筑屋面(顶)或相邻两个单体建筑之间采用索支承结构,除应对主体建筑进行强度、刚度和稳定计算外,宜对既有建筑结构的安全进行鉴定。既有建筑应能承受光伏板支承结构传递的附加作用(风荷载、雪、裹冰、地震和温度作用等),其不仅应满足强度、刚度和稳定性设计要求,也应符合既有建筑改造、加固等国家现行有关标准的规定。

【条文说明】在屋面(顶)和墙面设置光伏板,要考虑对建筑使用功能的影响,还应要考虑对建筑围护结构和主体结构承载力的影响。直接在屋顶或墙面设置光伏板,应考虑光伏板自重、风荷载和雪荷载效应对建筑围护结构和主体结构承载力的影响,应计算其强度、刚度和稳定承载力。架设在屋顶或两个单体建筑之间的索支承结构,考虑到两个单体建筑之间的距离较大,拉索跨越较大的空间,其索力会较大,对主体结构会产生较大的不利作用。为此,除应对既有建筑进行强度、刚度和稳定承载力计算外,也应该考虑建筑的剩余使用年限,宜对既有建筑结构进行安全鉴定。

4.2 刚性支承结构

4.2.1 光伏板刚性支承结构由横向结构和纵向结构组成,二者均应具有足够的强度、刚度和稳定性。

4.2.2 横向结构可采用单柱悬臂结构、门式刚架结构、混合结构,也可采用多跨连续结构等,见图 4.2.1。



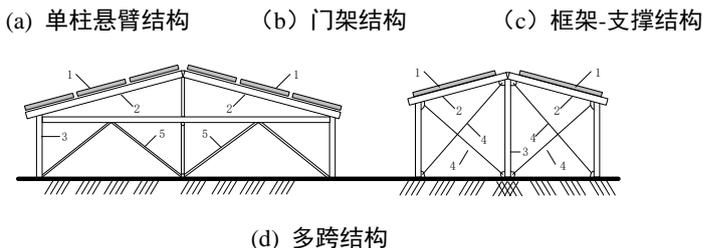


图 4.2.1 光伏板刚性支承结构类型与组成（横向结构）

1: 光伏板；2: 斜梁；3: 支承柱；4: 斜拉索；5: 支撑

【条文说明】光伏板刚性支承结构由横向结构和纵向结构组成。横向结构主要用于承担竖向重力荷载及风荷载作用在光伏板上的水平分力与竖向分力，纵向结构主要用于抵抗（边柱纵向结构）纵向荷载作用，类似于轻型房屋门式刚架结构的纵向支撑体系，主要由纵向刚性系杆与斜向支撑或柔性交叉支撑组成，以便提高结构的整体稳定性。

4.2.3 纵向结构可以由在支承柱柱顶设置刚性系杆及柱间支撑组成，其柱间支撑可采用刚性支撑或柔性支撑。

4.3 索支承结构

4.3.1 索支承结构设计选型应包括横向结构、纵向结构及阻尼索、稳定索等。横向结构主要承担竖向重力荷载和索力作用，索力主要源于索初始预应力、光伏板重力荷载及风载等作用。纵向结构主要承担光伏板上风载的纵向水平分力，同时应有足够的刚度和承载力以保证横向结构的稳定性。

4.3.2 横向结构可采用单索、索桁架、张弦梁等结构，其在跨度两端应与锚固结构可靠连接。锚固结构主要用于承担横向索的水平分力与竖向分力，可采用钢柱、钢管混凝土柱、混凝土柱等，

或者锚固在纵向结构上。

4.3.3 横向单索结构(图 4.3.3-1 和图 4.3.3-2)可采用由横向索(承重索)、边柱、斜拉锚索或内侧斜撑杆等构件组成。横向索锚固在边柱柱顶或边柱顶部的纵向钢梁上,纵向边梁(或桁架)放置在边柱柱顶或侧边,且与边柱可靠连接。横向刚度由边柱、斜拉索或内侧撑杆提供,此时边柱与基础可采用铰接连接。

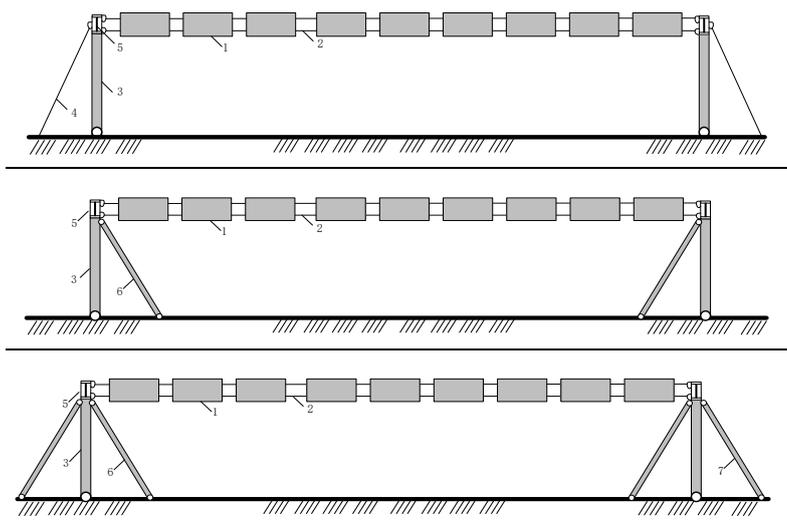


图 4.3.3-1 单索结构(跨度方向)与边柱支撑

1: 光伏板; 2: 单索; 3: 边柱; 4: 斜拉锚索; 5: 边梁(或托梁); 6: 内斜撑杆; 7: 外斜撑杆

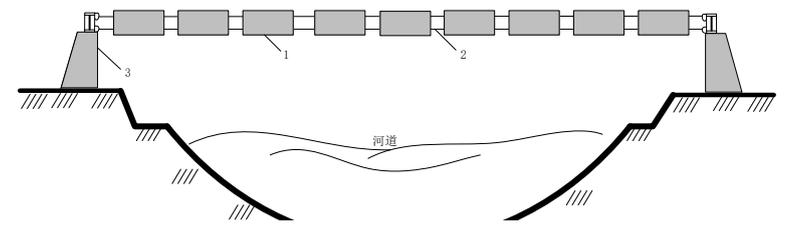


图 4.3.3-2 设置在河道上空的单索结构(跨度方向)

1: 光伏板; 2: 单索; 3: 混凝土柱或混凝土支墩

4.3.4 对于大跨度横向单索结构, 宜在跨内设置一个或多个中柱以缩减跨度, 中柱的数量依据设计确定 (图 4.3.4a)。在中柱两侧应设置斜拉索或刚性斜撑杆以降低结构发生连续倒塌破坏的风险 (图 4.3.4b)。横向承重索不宜断开, 应与中柱或纵向梁或纵向桁架通过索夹可靠连接。

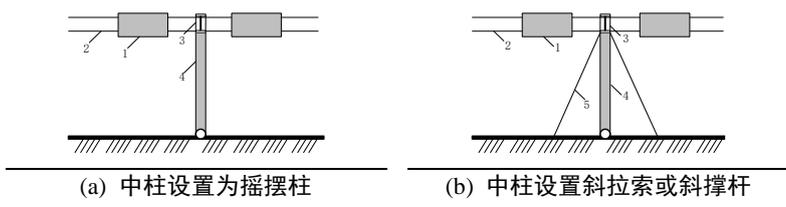


图 4.3.4 单索结构 (跨度方向) 在跨内设置中柱

1: 光伏板; 2: 横向索; 3: 纵向梁; 4: 摇摆柱; 5: 斜拉索或斜撑杆

4.3.5 横向结构采用平行单索结构时, 光伏板可连续布置 (图 4.3.5)。此时应沿横向间隔一定距离设置多道纵向水平稳定索, 以协调横向承重索之间受力及变形作用。

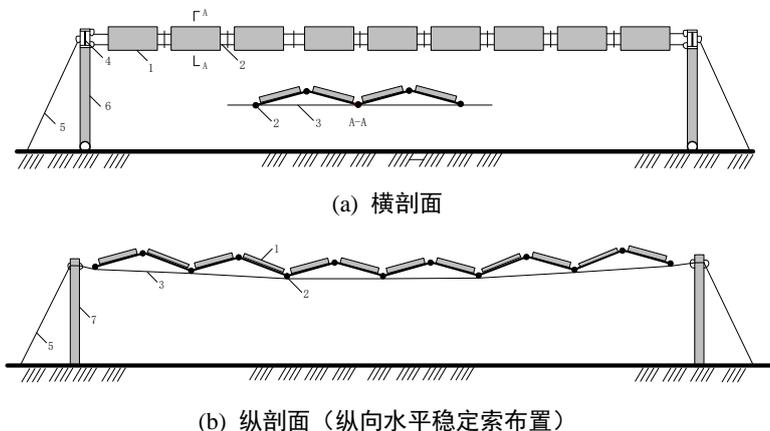
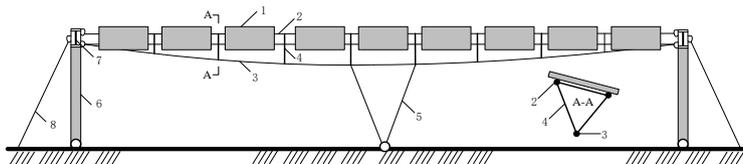


图 4.3.5 平行单索结构与光伏板连续布置

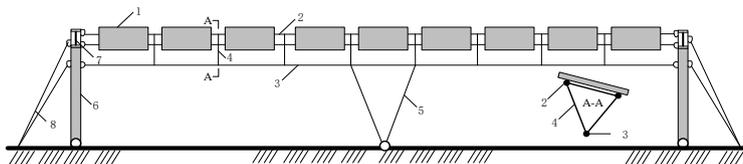
1: 光伏板; 2: 单索; 3: 稳定索; 4: 边梁 (或托梁); 5: 斜拉锚索; 6: 边

柱（横剖面）；7：边柱（纵剖面）

4.3.6 在横向结构跨度要求较大时，可选择索桁架结构（图 4.3.6）。索桁架由两道上弦平行索、一道下弦平行索及二者之间的倒三角形撑杆连接组成。索桁架两端锚固在边柱或纵向边梁上，宜在跨中设置稳定索（下拉索）并锚固至基础，或设置串联弹簧的拉索锚固至基础，或者在拉索端头配置恒载等。



(a) 下凹式索桁架



(b) 平行弦索桁架

图 4.3.6 横向承重索桁架示意图

1：光伏板；2：上弦索；3：下弦索；4：三角支撑架；5：下拉索；6：边柱；7：边梁（托梁）；8：斜拉锚索

4.3.7 横向索桁架可跨越较大的空间，适合在较大空间内不能设置竖向支承柱的情况。当索桁架跨越多个横向中柱或多个纵向梁时，上弦横向索应与中柱连接，见图 4.3.7。

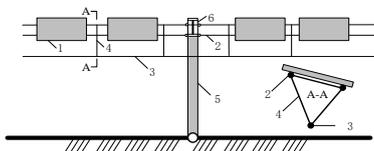


图 4.3.7 横向承重索桁架与中柱连接示意

1: 光伏板; 2: 上弦索; 3: 下弦索; 4: 三角支撑架; 5: 中柱; 6: 中梁

4.3.8 除了多个横向承重索桁架独立存在的索结构外, 也可通过纵向设置交叉索连接各个承重索, 以协调承重索之间的相互作用, 如图 4.3.8 所示。

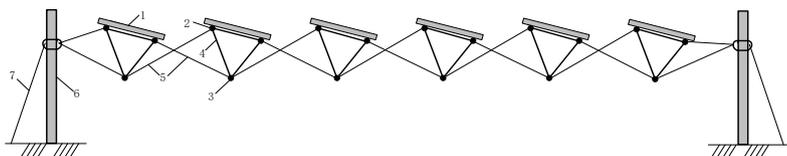


图 4.3.8 多个横向承重索桁架之间的纵向连接示意 (纵剖面)

1: 光伏板; 2: 上弦索; 3: 下弦索; 4: 三角支撑架; 5: 交叉索; 6: 边柱;
7: 斜拉锚索

4.3.9 在大跨度情况下, 可采用图 4.3.9 所示的横向承重索与下拉抗风索相结合的结构形式。

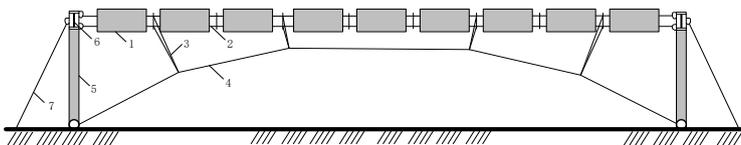


图 4.3.9 横向承重索桁架示意图 (正视图)

1: 光伏板; 2: 单索; 3: 下拉索; 4: 稳定索; 5: 边柱; 6: 边梁 (托梁);
7: 斜拉锚索

【条文说明】 对于横向大跨度结构, 通过设置横向稳定索提高抵抗风吸力的能力。此时, 由于下拉索的存在, 其承重索桁架的刚度获得极大地提高, 进而减少风致动力效应幅值。

4.3.10 纵向结构主要由边柱、纵向梁(纵向刚性系杆或纵向桁架)及柱间支撑组成(图 4.3.10), 其柱间支撑可采用刚性支撑或柔性

交叉支撑。

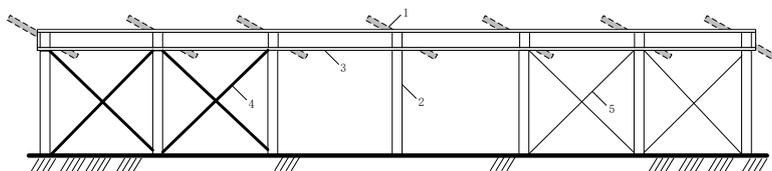
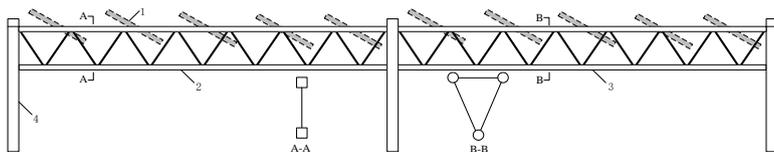


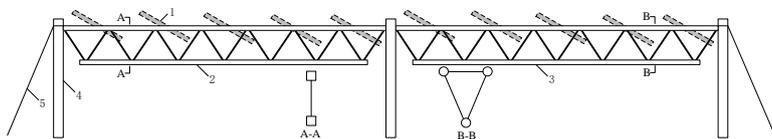
图 4.5.2 纵向结构组成及柱间支撑

1: 光伏板; 2: 边柱; 3: 纵向梁; 4: 刚性支撑; 5: 柔性支撑

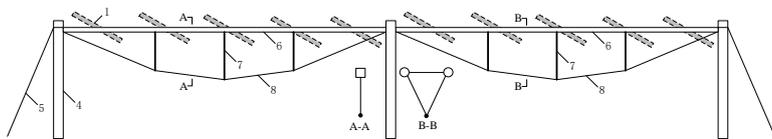
4.3.11 横向跨内设置纵向结构, 其选型主要应依据地形情况、风荷载、结构跨度等因素综合确定, 可选用连续多跨结构, 主要包括纵向托梁、桁架 (图 4.3.11ab)、张弦梁 (图 4.3.11c)、自平衡索桁架 (图 4.3.11d)、索桁架 (图 4.3.11ef) 等。



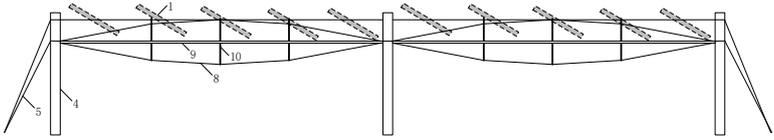
(a) 纵向托桁架 (桁架端部刚接)



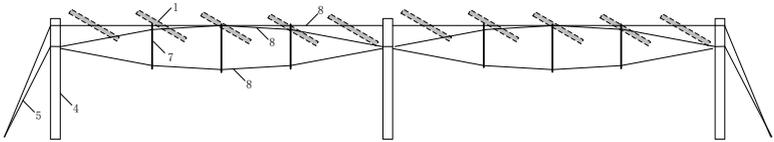
(b) 纵向托桁架 (桁架端部铰接)



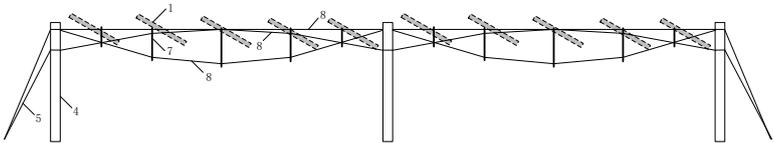
(c) 纵向张弦梁



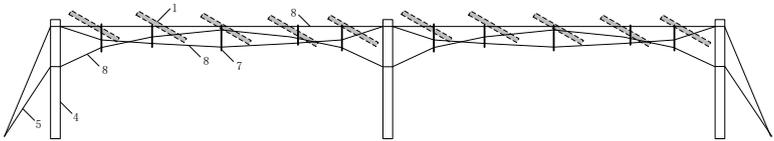
(d) 纵向自平衡索桁架



(e) 纵向索桁架（张力结构）



(f) 纵向索桁架（张力结构）



(g) 纵向索桁架（张力结构）

图 4.3.11 纵向结构类型及组成

- 1: 光伏板; 2: 平面托桁架; 3: 三角托桁架; 4: 边柱; 5: 斜拉锚索; 6: 纵向梁; 7: 撑杆; 8: 拉索; 9: 主压杆; 10: 横撑杆

【条文说明】横向跨内设置纵向托梁，主要为横向索结构提供支撑作用，可以使结构跨越障碍物或实现大空间目的。纵向托梁的结构形式多种多样，跨度不大时可采用实腹式钢梁，跨度较大时可采用桁架、张弦梁、自平衡索桁架和索桁架等结构型式，以实

现跨越更大的空间。

4.3.12 在跨度较大或风致动力效应比较显著的横向索结构设计中,宜设置稳定索或阻尼索。稳定索或阻尼索一端与承重索连接,另一端锚固至基础,宜布置在竖向变形较大的区域。对于串联弹簧的拉索或者端部带配重(恒值)的拉索,也可等效为阻尼索使用。

【条文说明】设置稳定索或者阻尼索主要用于降低风致动力效应(应力与变形幅值),稳定索与承重索互相关联,前者给后者施加一个向下的压力或拉力,从而保证索结构受风载抬起时,其承重索具有足够的刚度和稳定性,而阻尼索是通过消耗能量或转移能量而降低索结构的动力响应。稳定性或阻尼索一端可直接连接承重索,另一端连接于基础或锚固于地面岩石。稳定性或阻尼索需要施加适当的预应力,确保索结构振动时不松弛。稳定索可垂直布置,也可沿索结构纵向水平布置。稳定索连接多道横向承重索,主要用于协调不同横向承重索之间在振动时的变形及索力变化,进而达到降低索结构振动响应幅值的目的。

4.3.13 评估阻尼索的减振作用时,应建立整体有限元模型通过风致动力效应时程分析确定,或者通过风洞试验研究或工程经验确定。

【条文说明】工程实践证明,在承重索结构中设置阻尼索或稳定索可显著降低索结构的风致动力效应。但是,设置阻尼索的风致动力效应分析比较复杂,目前还没有合适的简化计算方法。工程设计特别需要时,可采用风致动力效应分析或者风洞试验研究或者依据工程经验确定相关设计参数。

5 结构分析

5.1 一般规定

5.1.1 光伏板支承结构设计使用年限为 25 年,地基基础设计使用年限不应低于光伏板支承结构的设计使用年限。建筑光伏一体化的光伏板支承结构设计使用年限应与一体化建筑主体结构一致。光伏板支承结构的基础设计等级为丙级。

5.1.2 光伏板支承结构抗震设防类别应为丁类。建筑光伏一体化的光伏板支承结构的抗震设防类别应与一体化建筑主体结构一致。

5.1.3 光伏板刚性支承结构内力分析可采用一阶弹性分析。光伏板索支承结构应进行初始预应力态及荷载态作用分析,计算中均应考虑几何非线性影响。

5.2 荷载与作用组合

5.2.1 光伏板支承结构应考虑恒载、雪载、风荷载、地震、温度作用和施工检修荷载等。

5.2.2 恒载根据支架、组件和固定在支架上的设备确定。雪载、风荷载和温度作用应按照《建筑结构荷载规范》GB 50009 中 25 年一遇的荷载取值。地震作用计算应符合《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定。

5.2.3 非抗震设计时,荷载效应组合按照《建筑结构荷载规范》GB 50009 确定;抗震设计时,荷载效应组合应符合《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定。

5.3 拉索预应力计算

5.3.1 索支承结构仅在结构自重与预应力作用下对应于的结构形态与力态可作为索结构的初始态，结构其他荷载效应的计算应以初始态为基础。

5.3.2 光伏板索支承结构的拉索应施加合适的初始预应力。拉索预应力水平的确定应符合下列规定：

1 拉索预应力水平需要满足设计要求，保证索支承结构具有必要的刚度；

2 确定拉索预应力大小，主要应满足结构在静力荷载作用下或风致动力计算时的变形控制要求。变形控制值应符合本规程 6.2 条规定。

3 在永久荷载控制的荷载组合作用下，拉索不得松弛；在可变荷载控制的荷载组合作用下，索结构不得因个别索的松弛而导致结构失效。

5.4 风荷载效应计算

5.4.1 垂直作用于光伏组件表面的风荷载标准值，应按下列式计算：

$$w_k = \beta_z \mu_s \mu_z w_0 \quad (5.4.1)$$

式中： w_k —— 风荷载标准值（ kN/m^2 ）；

β_z —— 高度 z 处的风振系数；

μ_s —— 高度 z 处的体型系数；

μ_z —— 风压高度变化系数；

w_0 —— 基本风压（ kN/m^2 ）。

5.4.2 基本风压应按现行《建筑结构荷载规范》GB 50009 规定的方法确定，其重现期应按本规程 5.1.1 条规定的使用年限采用，但

不得小于 0.30kN/m^2 。

5.4.3 风压高度变化系数应按现行《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定采用；对设置在建筑物或构筑物顶部 的光伏板支承结构，风压高度变化系数应采用实际高度处的数值。

5.4.4 对于复杂地形环境的情况，风压高度变化系数应按下列规定进行修正：

- 1 对山峰和山坡等地形，应根据山坡全高、坡度和光伏板距地面的高度确定地形修正系数，其值不应小于 1.0；
- 2 对山间盆地、谷口等闭塞地形，地形修正系数不应小于 0.75；
- 3 对与风向一致的谷口、山口，地形修正系数不应小于 1.2；
- 4 其他情况，地形修正系数应取 1.0；

5.4.5 风荷载体型系数宜按下列规定采用：

- 1 光伏组件的体型系数宜按表 5.4.5 的规定采用：

表 5.4.5 风荷载体型系数表

类型	体型	体型系数			
		α	$\leq 10^\circ$	20°	30°
倾斜 平板		μ_{s1}	-1.5	-1.8	-2.0
		μ_{s2}	-0.6	-1.0	-1.2
		μ_{s3}	1.5	1.8	2.0
		μ_{s4}	0.6	1.0	1.2

2 对于阵列布置（阵列纵向间距小于支承高度，且投影面积大于 $20 \times 20\text{m}^2$ ）的光伏板支承结构，可分别对图 5.4.5 规定的边缘区域、过渡区域和中心区域的体型系数进行折减：当倾角不大于 30° 时，边缘区域和中心区域的折减系数分别取 1.0 和 0.4，过渡区域则按行数进行线性插值。

3 对于设置在屋面（坡度不大于 15° ）的光伏板支承结构，风荷载体型系数宜按下列规定计算：

(1) 无女儿墙时，设置在屋面的光伏组件的体型系数应小于设置在地面的取值。其边缘区域的组件整体体型系数在负风压时取-1.2，正风压时取 0.6；中间区域的组件整体体型系数在负风压时取-0.6，正风压时取 0.5；过渡区域则按行数进行线性插值。

(2) 当女儿墙高度为 0.4~1 倍支承高度时，组件整体体型系数在负风压时取-0.6，正风压时取 0.5；当女儿墙高度为 2 倍支承高度时，组件整体体型系数在负风压时取-0.4，正风压时取 0.3；中间值按线性插值法计算。

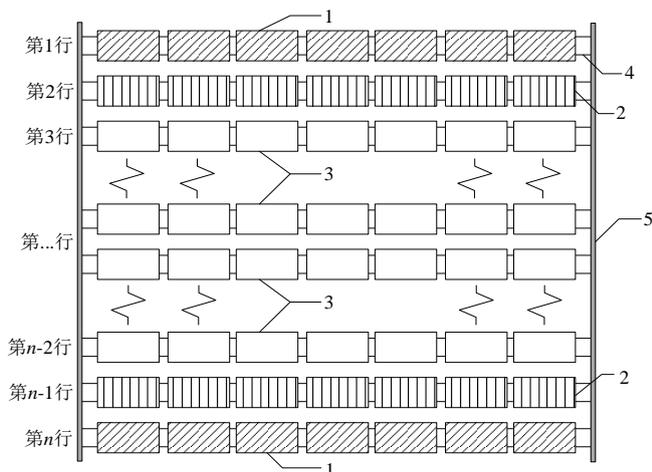


图 5.4.5 光伏板阵列分区示意图

1: 边缘区; 2: 过渡区; 3: 中间区; 4: 承重索; 5: 边梁

【条文说明】上游组件（或遮蔽物）的遮挡效应可以有效降低下游组件的平均风压。本条文对于设置在地面的光伏阵列通过中间区域和过渡区域的折减系数以考虑上游组件的遮挡效应，对于设置在屋面的光伏阵列的整体体型系数同样考虑了女儿墙的遮挡效应，可有效提高光伏板支承结构设计经济性。

5.4.6 对于体型或周围环境复杂且无相关资料参考的光伏板支承

结构，其风载体型系数宜通过风洞试验或数值风洞确定。

5.4.7 对于倾角不大于 30° 的光伏板索支承结构，风振系数取值可依据索支承结构的类型、跨度大小、刚度强弱、场地条件、遮挡情况等因素综合确定，且应符合下列规定：

- 1 单向单层索结构，1.4~1.6；
- 2 双向单层索网或设置竖（斜）向抗风索，1.3~1.6；
- 3 索桁架、双层索网，1.4~1.8；
- 4 自平衡索桁架、张弦梁、张弦桁架，1.3~1.8；
- 5 横向加劲索系，1.4~1.7；
- 6 结构净跨度大于 30 米且自振频率较低者，1.5~1.8。

【条文说明】光伏板索支承结构由于索单元布置灵活，结构类型多种多样，能适应各种场地条件。结合目前的工程实践与应用，光伏板索支承结构可暂时分为单向单层索结构、双向单层索网结构、索桁架、双层索网、自平衡索桁架、张弦梁、张弦桁架、横向加劲索系等多种型式。

与封闭式建筑索结构比较，由于光伏板索支承结构四周开敞，顶部漏风，其风压直接作用在光伏板单元上，光伏板采用 4 个较支座与钢索固定，再通过钢索将荷载传到两端支座。对于倾角较小的光伏阵列，上游组件在水平风作用下的风致动力效应较小，并且考虑到光伏板支承结构的使用年限较短，采用传统建筑结构设计规范规定的风振系数往往偏于保守。

光伏板索支承结构的风致效应数值分析复杂，主要受计算软件、计算方法、计算模型及风工程专业知识等因素影响，计算结果离散程度较大。影响风振系数的因素较多，主要有索结构类型、跨度大小、刚度强弱、场地条件、结构周边遮挡情况等。结构刚

度是决定风振幅值的重要因素之一，结构的跨度较大，其整体刚度相应变弱，风致振动自然会增大；拉索的预应力增大，其结构的初始刚度相应变强，风振作用也相应降低。也要特别注意，对于尚没有设置稳定索或抗风索的索桁架设计，由于风吸力作用下的结构刚度较小，会产生较大的向上位移，此时进行风吸力作用工况设计时宜取风振系数的较大值。

5.4.8 对于阵列布置（阵列纵向间距小于支承高度，且投影面积大于 $20 \times 20\text{m}^2$ ）的光伏板支承结构，风振系数应分别按照图 5.4.5 规定的分区（边缘区域、过渡区域和中心区域）进行计算，且应符合下列规定：

- 1 边缘区域的风振系数，按照本规程 5.4.7 条的规定取值；
- 2 过渡区域的风振系数，按照本规程 5.4.7 条的规定取值乘以放大系数 1.2。
- 3 中心区域的风振系数，按照本规程 5.4.7 条的规定取值乘以放大系数 1.1。

【条文说明】数值结果计算表明，上游组件的遮挡效应虽能有效降低下游组件的平均风压，同时上游组件后方产生的紊流尾流也会明显增大下游组件的风致动力效应。因此，本条文通过规定过渡区域和中间区域风振放大系数来考虑此因素的影响。

5.4.9 对于满足下列条件之一的光伏板索支承结构，应通过风洞试验或数值风振响应分析确定风振系数：

- 1 跨度大于 40m 的单索结构或跨度大于 60m 的其它类型的索支承结构；
- 2 索支承结构的基本自振周期大于 1.5s ；
- 3 体型复杂且较为重要的结构。

5.4.10 光伏板索支承结构的风洞试验宜按现行《建筑工程风洞试验方法标准》JGJ/T 338 实施。

5.4.11 光伏板索支承结构的数值风振响应分析，宜按照下列步骤计算：

1 建立光伏板索支承结构有限元模型，光伏板宜按无限刚性处理，质量均匀分布，钢索采用非线性索单元且依据设计要求施加预应力；阻尼索的等效阻尼比应反应其在结构振动中的实际阻尼作用。

2 建立数值风洞模型以模拟光伏板阵列所在的实际大气边界层，模型边界处的平均风速剖面、紊流强度剖面及脉动风功率谱应符合现行《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定。

3 对于变形较大的单索结构，应按柔性模型计算；对于变形较小的其他类型索支承结构，应按刚性模型计算。

4 根据光伏板索支承结构的等效静力风荷载、等效静位移及等效静内力计算相应的风振系数。

【条文说明】本条规定了光伏板索支承结构进行风致动力效应分析的基本方法和计算步骤。由于光伏板风致动力效应计算比较复杂，需要计算人员应该掌握风工程的相关知识。实践证明，深厚的风工程专业知识对分析过程中参数取值合理性及计算结果的分析有重要指导作用，因此此条仅作为复杂索支承结构风致动力效应计算时参考。

6 设计

6.1 一般规定

6.1.1 光伏板支承结构应进行承载力极限状态和正常使用极限状态设计，还应满足耐久性和防腐等相关要求。

6.1.2 在持久设计状况、短暂设计状况下，光伏板支承结构承载力计算应符合下式规定：

$$\gamma_0 S_d \leq R_d \quad (6.1.2)$$

式中： γ_0 —— 结构重要性系数，应按《工程结构可靠性设计统一标准》GB50153 的规定取值；

S_d —— 作用组合的效应设计值；

R_d —— 构件承载力设计值。

6.1.3 在地震设计状况下，光伏板支承结构承载力计算应符合下列规定：

$$S_d \leq R_d / \gamma_{RE} \quad (6.1.3)$$

式中： γ_{RE} —— 构件承载力抗震调整系数，应按现行《建筑抗震设计规范》GB50011 的规定取值。

6.1.4 光伏板支承结构正常使用极限状态验算应符合下列规定：

$$S_d \leq C \quad (6.1.4)$$

式中： C —— 结构或结构构件达到正常使用要求的规定限值，例如变形、裂缝、振幅、加速度等的限值，应按各有关建筑结构设计规范的规定采用。

6.1.5 光伏板支承结构设计应采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，以分项系数设计表达式进行计算。对于索支承结构的承载能力极限状态，当预应力作用对结构有利时预应力分项系数

γ_{pi} 应取 1.0, 对结构不利时应取 1.3。对正常使用极限状态, γ_{pi} 应取 1.0。

6.1.6 在既有建(构)筑物上增设光伏板支承结构时, 应对既有建(构)筑物结构的承载能力进行验算。

6.1.7 使用年限为 25 年的光伏板支承结构, 重要性系数取值为 0.95; 使用年限为 25 年的地基基础, 重要性系数取值为 1.0。

6.1.8 光伏板支承结构有抗震设防要求时, 节点连接的承载力应大于构件的承载力。

6.1.9 光伏板刚性支承结构宜按空间结构进行分析。有限元计算模型宜采用杆单元、梁单元等, 且结构边界条件应与实际情况相符。

6.1.10 光伏板索支承结构, 宜按空间结构进行分析; 对于布置规则及支架顶部标高变化不大的索支承结构, 可按以下步骤计算:

1 计算各种工况下的索力以及固定端和中间支座的反力。

2 按空间结构计算固定端支架(边索架), 按二维结构计算中间支架(托索架)。

6.1.11 光伏板支承结构的地基基础设计, 应进行承载力计算和变形验算, 并采取合理的构造措施。地基基础设计除应满足本规程的规定外, 尚应符合《建筑地基基础设计规范》GB 50007、《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的规定。在抗震设防区, 还应符合《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定。

【条文说明】光伏板支承结构的地基基础相对简单,《建筑地基基础设计规范》GB 50007 及《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的相关内容尚能满足光伏板支承结构的地基基础设计。在结构设计时, 应根据光伏板支承结构地基基础传力特点, 如钢索传递拉力, 应采取相对应的地基基础型式。

6.2 变形规定

6.2.1 为了保证下部支承结构、构件以及光伏板的正常使用，设计时应应对光伏板支承结构变形及构件挠度规定相应的限值。

6.2.2 在风荷载标准值作用下，索支承结构变形控制应符合如下规定。

- 1 光伏板（关键点）水平位移不应大于其跨度的 $1/40$ 。
- 2 光伏板（关键点）竖向位移不应大于其跨度的 $1/60$ 。

6.2.3 在风荷载标准值作用下，光伏板支承结构柱顶的水平位移容许值应满足下列规定，且应满足工艺组件安全运行位移要求。

1 索支承结构的边索架采用钢结构时，柱顶位移不应大于柱高的 $1/400$ 。

2 索支承结构的中间支架采用钢结构时，柱顶位移不应大于支架柱高的 $1/60$ 。

3 刚性支承结构采用钢构件时，柱顶位移不应大于柱高的 $1/60$ 。

4 刚性支承结构采用混凝土构件时，柱顶位移不应大于柱高的 $1/300$ 。

6.2.4 光伏板支承结构体系中所采用的钢结构或钢构件，其受弯构件的挠度容许值宜符合表 6.2.4 中的规定。

表 6.2.4 支承结构的挠度容许值

结构类型	项次	构件类别	竖向位移	跨中水平位移
索支承结构	1	固定侧横梁	$L/400$	$L/400$
	2	中间摇摆支架横梁	$L/250$	
刚性支承结构	3	支架横梁	$L/250$	
	4	檩条	$L/250$	

注：1 表中 L 为索支承结构的跨度。

2 对固定侧悬臂梁，按悬臂长度的 2 倍计算受弯构件的跨度。

3 混凝土受弯构件的挠度限值宜符合现行国家标准的相关规定。

4 光伏板支承结构横梁可采用预先起拱，当仅为改善外观条件时，构件挠度应取在恒荷载和活荷载标准值作用下的挠度计算值减去起拱值。

6.2.5 索支承结构中的承重索，在标准永久荷载作用下，其跨中垂度不宜超过跨度的 $1/60$ ，在永久荷载和活荷载的标准组合作用下，跨中垂度不宜超过跨度的 $1/35$ ，在风荷载标准值作用下其水平跨中位移不宜大于跨度的 $1/150$ ，同时应满足组件及其下方设施运维时对净空的要求。

【条文说明】 工程实践证明，承重索的初始状态（自重+索预拉力作用）允许有一定的垂度：如果垂度要求过于严格，则需要很大的索预拉力，从而增大锚固端构件及基础的负担，影响设计的经济性；如果允许垂度较大，组件会相互遮挡。此外，如组件下方为污水厂、停车场等时有使用要求，且还需考虑组件在自重、

风荷载、雪荷载以及升温时垂度的增加，此时需要严格控制拉索的预拉力值。

6.3 刚性构件

6.3.1 光伏板支承结构中的刚性构件可采用钢梁、钢柱、钢框(排)架、钢桁架、钢管混凝土及混凝土构件等。

6.3.2 刚性支承结构及索支承结构中，钢结构支架的钢柱、横梁、侧向撑杆以及柱间支撑，应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 进行设计；索支承结构中摇摆支架的钢柱、钢梁及柱间支撑，可按现行国家标准《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》GB 51022 进行设计。

6.3.3 当支架采用混凝土结构时，应按现行国家规范《混凝土结构设计规范》进行计算和设计；采用预应力混凝土管桩生产工艺制作而成的管柱作为支架，当不设承台时属于桩柱结构，应满足承载力和延性要求，必要时应配置非预应力钢筋，计算方法可按《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406 进行计算。

6.3.4 承重索的锚固端（边索架）可采用钢结构或混凝土结构支架，固定端的支架应具有独立的抗侧力体系，应能承受钢索传来的索拉力。

6.3.5 承重索的中间支架（托索架），柱脚宜为铰接，支架横梁的平面外计算长度，可取承重索之间的距离或可靠侧向支撑点之间的距离，中间支架应能承受两侧索拉力产生的竖向合力和水平合力。

6.4 钢索

6.4.1 光伏板索支承结构中，钢索和钢拉杆应满足现行行业标准《索结构技术规程》JGJ 257 的规定。

6.4.2 钢索承载力计算应满足下列规定：

$$F \leq F_{tk} / \gamma_R \quad (6.4.2)$$

式中： F —— 拉索的抗力设计值；

F_{tk} —— 拉索的极限抗拉力标准值；

γ_R —— 拉索的抗力分项系数，当拉索为锚索时，取 2.0，
当为钢拉杆时取 1.7；当拉索为承重索、副索以及
稳定索时，取 1.7。

6.4.3 索支承结构体系的初始预应力状态，应根据跨度、光伏板组件的使用功能、边界支承条件等因素，合理确定拉索预应力水平，并通过试算确定索支承结构的初始几何形态及初始内力分布。

6.4.4 中小跨度的索支承结构，可采用单索承重结构；跨度较大的索支承结构，且在风荷载作用下承重索上下浮动位移较大时，宜采用由承重索和稳定索或抗风副索构成的组合索系。

6.4.5 在承重索跨度方向上，每隔 10 米左右应设置一道纵向稳定索，当风荷载较大时，稳定索间距宜适当减小。稳定索应约束承重索，稳定索端部与锚索交汇点的转折处，应设置立柱且按拉压杆设计。

【条文说明】 工程实践证明，设立柱时稳定索发挥的作用极小，尤其是在向下的风荷载作用下，组件水平位移较大。

6.5 节点

6.5.1 光伏板支承结构的连接节点设计，应采用刚性构件—刚性

构件的连接节点、刚性构件—钢索连接节点、钢索—钢索连接节点、钢索-光伏板连接节点、钢索锚固节点等。

6.5.2 光伏板支承结构的连接节点应满足承载力要求，其节点构造应符合计算假定，应保证传力路线明确、安全可靠并便于制作和安装。

6.5.3 刚性构件—刚性构件连接节点应符合《钢结构设计标准》GB50017、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB50018 的规定。

6.5.4 钢索-钢索节点、刚性构件-钢索连接节点设计承载力不应小于构件承载力的 1.2 倍。

6.5.5 边柱-钢索连接节点可采用耳板连接（图 6.5.5-1）或夹片锚具连接（图 6.5.5-2）等形式，耳板连接节点可通过调节器调整索拉力。

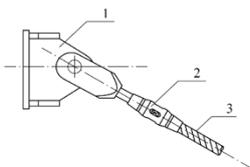


图 6.5.5-1 边柱与钢索的耳板连接

1: 耳板; 2: 调节器; 3: 钢索

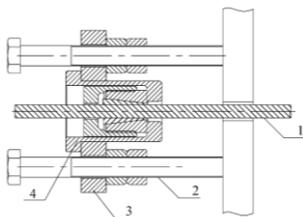


图 6.5.5-2 边柱与钢索的夹片锚具连接

1: 钢索; 2: 调节螺栓; 3: 支撑板; 4: 夹片锚具组件

6.5.6 中柱与钢索可采用夹板连接 (图 6.5.6)。

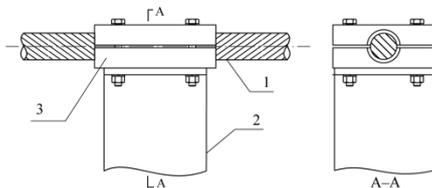


图 6.5.6 中柱与钢索的索夹连接

1: 钢索; 2: 中柱; 3: 索夹

6.5.7 钢索-钢索连接节点设计应考虑节点应力状态的复杂性, 可采用钢 U 形夹具连接 (图 6.5.7-1) 或螺栓夹板连接 (图 6.5.7-2) 等形式。索体在夹具中不应滑移, 夹具与索体间的静摩擦力应大于两侧索力之差, 并应采取措施避免索体防护层受挤压破坏。

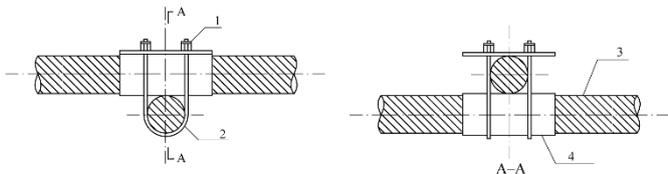


图 6.5.7-1 钢索与钢索的 U 形夹具连接

1: 双螺帽; 2: U 形夹; 3: 钢索; 4: 厚铅皮

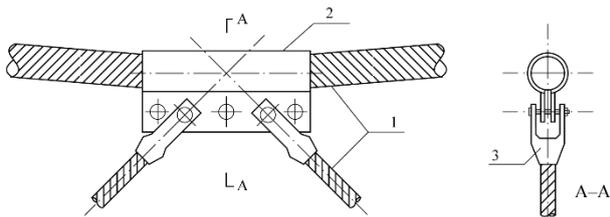


图 6.5.7-2 钢索与钢索的 U 形夹具连接

1: 钢索; 2: 钢夹板; 3: 锚具

6.5.8 钢索-光伏板连接节点宜采用 U 型夹具连接 (图 6.5.8), U 形夹连接不应在拉索受力时产生相对滑动。

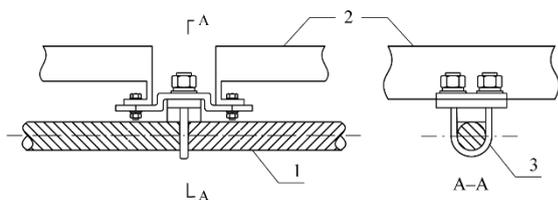


图 6.5.8 钢索-光伏板连接

1: 钢索; 2: 光伏板; 3: U 形夹

6.5.9 钢索锚固节点应根据具体情况采用重力锚、盘型锚、蘑菇型锚、摩擦桩、拉力桩、阻力墙等类型 (图 6.5.9)。

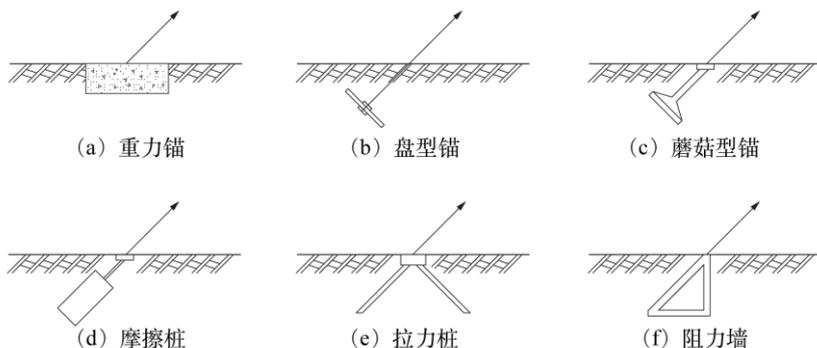


图 6.5.9 钢索锚固节点

6.6 地基基础

6.6.1 光伏板支承结构的地基基础可采用刚性构件基础、钢索锚

固基础等。

6.6.2 刚性构件地基基础选型应该依据构件的受力状况、场地条件、地质条件等综合确定。

【条文说明】构件的受力状况包括光伏板支承结构对基础的轴力、压弯或拉弯荷载作用；场地条件包括山地、湖泊；地质条件包括基岩、淤泥、沙地以及地下水等情况。基础确定需考虑光伏板支承结构对不均匀沉降的要求等，例如横向单索结构对不均匀沉降要求较高，因为基础不均匀沉降会严重影响索力幅值。

6.6.3 对地基基础设计，当有下列情况之一时应进行变形验算，计算结果不应大于地基变形允许值。地基变形允许倾斜值（ $\tan\theta$ ）为 0.008，允许沉降值为 400mm。当有工艺等特殊要求时，可按现行相关专业标准的规定另行确定。

1 地基承载力特征值小于 80kPa 时；

2 在基础上及其附近有地面堆载或相邻基础荷载差异较大，可能引起地基产生过大的不均匀沉降时；

3 地基内有厚度较大或厚薄不均匀的填土，其自重固结未完成时。

6.6.4 光伏板支承结构基础采用扩展基础时，应进行倾覆稳定性验算，抗倾覆稳定安全系数不应小于 1.6。

6.6.5 处于山坡地的光伏板支承结构基础，应按《建筑地基基础设计规范》GB 50007 进行地基稳定性验算。

6.6.6 在考虑抗震设计组合时或正常使用极限状态标准组合作用下，基础零应力区面积不应大于基础底面的 1/4。

6.6.7 光伏板支承结构基础应根据地下水对基础的侵蚀性作用程度，应进行相应的防侵蚀处理。

【条文说明】光伏板支承结构在沙漠、草原、滩涂、戈壁、冻土等地区，一般采用钢螺旋桩。但如在强腐蚀地基中，存在腐蚀引起钢桩耐久性问题。目前国内采用最多的防腐措施是在钢桩内外面涂镀高标准的热浸锌合金镀层，也有增加钢材壁厚，即腐蚀裕量等措施。

7 施工、防腐与验收

7.1 一般规定

(本章仅包含索结构的内容,刚性支承结构是否需要概述一下相关标准和要求)

- 7.1.1** 施工前应编制施工组织设计,在施工过程中应严格执行。
- 7.1.2** 施工前应对索体、锚具及零配件的出厂报告、产品质量保证书、检测报告以及品种、规格、色泽、数量进行验收。
- 7.1.3** 施工前应对支承结构或边缘构件上用于拉索锚固的锚板、锚栓、孔道等空间坐标、几何尺寸及倾角等进行检查验收,验收合格后方可进行索结构施工。
- 7.1.4** 索结构制作、安装、张拉所用设备与仪表应在有效的计量标定期内。
- 7.1.5** 锚具及索体的保护层或防腐层不应有锈斑、毛刺、棱角。对拉索或其组装件的所有部位均应检查,损坏的钢索、钢拉杆或钢丝均应更换,受损的非承载部件应进行修补。
- 7.1.9** 施工完成后应采取保护措施,防止拉索被损坏。在拉索的周边不得进行焊接、切割等作业。

7.2 制作

- 7.2.1** 如果按照定长索设计概念确定索支承结构拉索的下料长度,则要建立包含拉索与锚固结构一体化有限元模型,在考虑拉索制作温度、现场环境温度与拉索设计基准温度差异的条件下,计算索下料长度的补偿值。

7.2.2 钢索索体应根据设计要求对索体进行测长、标记和下料。应根据应力状态下的索长，进行应力状态标记下料或经弹性模量换算进行无应力状态标记下料。

7.2.3 钢索进行无应力状态下料时，应考虑其自重挠度等因素的影响，宜取 $200\text{N/mm}^2 \sim 300\text{N/mm}^2$ 的张拉应力。

7.3 安装

7.3.1 光伏板索支承结构拉索预应力施工应满足结构设计要求，拉索预应力张拉施工要依据索支承结构的类型、场地条件和张拉设备综合确定。

7.3.2 拉索应力张拉施工应依据索支承结构的类型和设计要求，可采用直接张拉施工或通过给边柱柱顶施加横向水平位移完成张拉施工。

7.3.3 如果采用给边柱柱顶施加横向水平位移完成拉索张拉施工，则边柱柱脚在横向宜采用铰接连接，外侧斜向受拉构件可采用拉索或拉杆或型钢等构件。

7.3.4 拉索预应力张拉施工应补偿使用阶段预应力松弛影响，故应按照设计要求超张拉。超张拉值取预应力值的 5% 或者按照工程经验确定。

7.3.5 放索时，拉索应放在索盘支架上，以保证安全。牵引绳与索体之间宜采用旋转连接器连接，以便消除各种情况下的回转力矩。

7.3.6 索夹安装时，应满足各施工阶段索夹拼装螺栓的拧紧力矩要求。

7.3.7 安装顺序宜先从有柱间支撑的刚架开始，在刚架安装完毕后应依次安装承重索、稳定索及阻尼索，并根据设计的初始几何位形和预应力值进行初调整；在组件安装完成后，再进行几何位形和预应力值的最终调整。

7.3.8 张拉前应对张拉系统的设备和仪表进行标定，千斤顶与压力表应配套标定，并配套使用，标定期限不得超过 6 个月，标定时应由千斤顶主动顶加载试验设备；

7.3.9 拉索张拉应遵循分阶段、分级、对称、缓慢匀速、同步加载的原则；拉索张拉前应确定以索力控制为主，结构位移控制为辅的原则；对结构重要部分宜同时进行索力和位移双控制，并应规定索力和位移的允许偏差。

7.3.10 张拉力允许偏差不宜大于设计值的 10%，拱度及挠度允许偏差值不宜大于设计值的 5%。

7.3.11 在索力、位移调整完成后，对于钢绞线拉索的夹片锚具应采取防松措施，使夹片在低应力状态下不致松动。

7.3.12 在户外作业时，宜在风力不大于四级的情况下进行。在安装过程中应注意风速和风向，应采取安全防护措施避免拉索发生过大摆动。有雷电时，应停止作业。

7.4 防腐

7.4.1 索体采取普通防腐时，对高强钢丝或钢绞线应进行镀锌、镀铝锌、防锈漆、环氧喷涂处理或对索体包裹护套；索体采取多层防护时，对高强钢丝和钢绞线应经防腐蚀处理后再在索体外包裹护套；两端锚具应采用表面镀层防腐蚀或喷涂防腐涂料。

7.4.2 当拉索外露的塑料护套有耐老化要求时，应采用双层塑料护套，内层添加抗老化剂和抗紫外线成分。

7.4.3 索体防火宜采用钢管内布索、钢管外涂敷防火涂料保护的方法，当拉索外露的塑料护套有防火要求时，应在塑料护套中添加阻燃材料或外涂满足防火要求的特殊涂料。

7.4.4 拉索锚具、拉杆表面应进行热镀锌处理，镀锌厚度不得低于 65 微米。也可以进行渗锌处理，渗锌厚度不得低于 30 微米。

7.5 验收

7.5.1 工程验收依据应包括下列内容：

- 1 国家现行有关法律、法规、规章和技术标准。
- 2 有关主管部门的规定。
- 3 经批准的工程立项文件、调整概算文件。
- 4 经批准的设计文件、施工图纸及相应的工程变更文件。

7.5.2 工程验收项目应包括下列主要内容：

- 1 检查工程是否按照批准的设计进行建设。
- 2 检查已完工程在设计、施工、设备制造安装等过程中与质量相关资料的收集、整理和签证归档情况。
- 3 检查施工安全管理情况。
- 4 检查工程是否具备运行或进行下一阶段工作的条件。
- 5 检查工程投资控制和资金使用情况。
- 6 对验收遗留问题提出处理意见。
- 7 对工程建设作出评价和结论。

7.5.3 当工程具备验收条件时，应及时组织验收。未经验收或验收不合格的工程不得交付使用或进行后续工程施工。验收工作应相互衔接，不应重复进行。

7.5.4 光伏组件支架(固定式支架)安装的验收应符合下列要求：

1 支架安装的验收应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205 的有关规定。

2 采用紧固件的支架，紧固点应牢固，不应有弹垫未压平等现象。

3 支架安装的垂直度、水平度和角度偏差应符合现行国家标准《光伏电站施工规范》GB50794 的有关规定。

4 固定式支架安装的偏差应符合现行国家标准《光伏电站施工规范》GB50794 的有关规定。

5 对于手动可调式支架，高度角调节动作应符合设计要求。

6 支架的防腐处理应符合设计要求。

7 金属结构支架应与光伏方阵接地系统可靠连接。

7.5.5 拉索制作应按下列规定进行验收：

1 拉索外径允许偏差、长度允许偏差应符合《索结构技术规程》JGJ 257 的规定。

2 成品钢拉杆长度允许偏差应符合《索结构技术规程》JGJ 257 的规定。

3 索体表面应圆整、光洁、无损伤、无污垢、护套无破损。

4 锚具、销轴及其他连接件表面应无损伤；锚具涂层不应存在破损、起皱、发白等情况，护层外观均匀有一定光泽。

7.5.6 拉索安装应按下列规定进行验收：

1 安装完成的索力和垂度、拱度应符合设计要求。

2 安装完成后，索体表面应圆整、光洁、无损伤、无污垢、护套无破损，如果护套存在破损，应作相应的修补。

3 安装完成后，锚具、销轴及其他连接件表面应无损伤；如果存在损伤，应作相应的修补。

7.5.7 拉索张拉应按下列规定进行验收，张拉完成后结构变形或应力均应符合设计要求。

7.5.8 光伏组件支架基础的验收应符合《光伏支架结构设计规程》NBT 10115 的规定；光伏组件安装的验收应符合《光伏电站施工规范》GB 50794 的规定。

本规程用词说明

为便于在执行本规程条款时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

- 1** 表示很严格，非这样做不可的：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
- 2** 表示严格，在正常情况下均应这样做的：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
- 3** 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。
- 4** 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

引用标准名录

本规程引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用本规程；不注日期的，其最新版适用于本规程。

- 1 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
- 2 《建筑结构荷载规范》GB 50009
- 3 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 4 《建筑抗震设计规范》GB 50011
- 5 《钢结构设计标准》GB 50017
- 6 《冷弯薄壁型钢技术规范》GB 50018
- 7 《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153
- 8 《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205
- 9 《钢结构焊接规范》GB 50661
- 10 《光伏电站施工规范》GB50794
- 11 《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》GB 51022
- 12 《钢结构通用规范》GB 55006
- 13 《碳素结构钢》GB/T 700
- 14 《低合金高强度结构钢》GB/T 1591
- 15 《耐候结构钢》GB/T 4171
- 16 《焊接结构用耐候钢》GB/T 4172
- 17 《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224
- 18 《斜拉桥热挤聚乙烯高强钢丝拉索》GB/T 18365
- 19 《钢丝绳通用技术条件》GB/T 20118
- 20 《钢拉杆》GB/T 20934
- 21 《建筑结构用高强度钢绞线》GB/T 33026
- 22 《建筑桩基技术规范》JGJ 94
- 23 《索结构技术规程》JGJ 257
- 24 《建筑工程风洞试验方法标准》JGJ/T 338
- 25 《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406

- 26 《光伏支架结构设计规程》NB/T 10115
- 27 《高强度低松弛预应力热镀锌钢绞线》YB/T 152
- 28 《建筑工程用锌-5%-铝-稀土合金镀层钢绞线》YB/T 4542
- 29 《密封钢丝绳》YB/T 529

中国工程建设标准化协会标准

光伏板支撑结构技术规程

T/CECS xxx-2022

条文说明

制定说明

本规程制定过程中，编制组进行了广泛深入的调查研究，对索支承结构中的风致效应计算开展了深入研究，总结了我国光伏板支承结构工程建设的实践经验，同时参考了国外先进技术法规、技术标准。

为便于广大技术和管理人员在使用本规程时能正确理解和执行条款规定，《光伏板支撑结构技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条款规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项等进行了说明。本条文说明不具备与标准正文及附录同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

目 次

- 1 总则
- 2 术语和符号
 - 2.1 术语
 - 2.2 符号
- 3 材料
 - 3.1 钢材
 - 3.2 连接材料
 - 3.3 钢索
- 4 结构选型
 - 4.1 一般规定
 - 4.2 刚性支承结构
 - 4.3 索索结构
- 5 结构分析
 - 5.1 一般规定
 - 5.2 荷载与作用组合
 - 5.3 拉索预应力计算
 - 5.3 风荷载效应计算
- 6 设计
 - 6.1 一般规定
 - 6.2 变形规定
 - 6.3 刚性构件
 - 6.4 钢索
 - 6.5 节点
 - 6.6 基础
- 7 施工、防腐与验收
 - 7.1 一般规定
 - 7.2 制作
 - 7.3 安装
 - 7.4 防腐

7.5 验收