

ICS 03.220.50
CCS V01

T/CCAATB

中国民用机场协会团体标准

T/CCAATB 0060-2024

民用机场光伏设施规划设计指南

Planning and design guidelines for civil airport photovoltaic facilities

2024-5-22 发布

2024-6-22 实施

中国民用机场协会 发布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 规划与选址	5
5 太阳能资源量评估	7
6 光伏发电系统	9
7 接入系统	11
8 光伏消纳	16
9 土建结构	18
10 安全风险评估	21
附录 A 电缆与电缆、管道、道路、构筑物等之间允许最小距离（单位：m）	24
附录 B 光伏发电接入电压等级	25
附录 C 光伏板反射光强度飞行员和塔台管制人员的风险判定	26
附录 D 光反射仿真参数	27

前 言

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

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专利的责任。

《民用机场光伏设施规划设计指南》共分10章，分别是范围、规范性引用文件、术语和定义、规划与选址、太阳能资源量评估、光伏发电、接入系统、光伏消纳、土建结构、安全风险评估、附录A、附录B、附录C和附录D，着重规定机场光伏规划与选址、光伏发电、光伏接入系统、光伏消纳、土建结构和安全风险评估内容等。

本文件由中国民航科学技术研究院提出。

本文件由中国民用机场协会归口。

《民用机场光伏设施规划设计指南》由主编单位负责日常管理。执行过程中如有意见和建议，请函告中国民航科学技术研究院（地址：北京市朝阳区西坝河北里甲24号；邮编：100028；传真：010-64473010；电话：010-64473692；电子邮箱：jiaqin@mail.castc.org.cn），以便修订时参考。

本文件起草单位：中国民航科学技术研究院、南京天溯自动化控制系统有限公司、华设设计集团北京民航设计研究院有限公司、山西航空产业集团有限公司、上海时代之光照明电器检测有限公司、北京首都机场动力能源有限公司、建科环能科技有限公司、海口美兰国际机场、新疆机场集团有限责任公司、乌鲁木齐地窝堡国际机场

本文件主要起草人：贾钦、郝薛文、聂艳丽、虞再道、王森、张恩奇、苗家瑞、王绍熙、王琦、刘成、邹文波、温治纲、傅博、罗涛、潘峰、陈颖、柯猛、雷芹芹、于敬磊、陶赞、宋张炜、张晓静、唐恒毅

本文件主要审查人：李青山、静恩波、罗涛、徐军库、付静、杨嘉、章铁桦、冯爱华、米爱群、郭凯、张思思、张瑜、蒋涛、张冬冬。

本文件为首次发布。

引 言

机场作为综合交通枢纽和重要的公共基础设施，为实现绿色可持续发展目标，积极探索满足机场运行要求的低碳环保运营模式。太阳能光伏技术，正是实现这一目标的关键手段之一。目前，我国多个机场安装并运行了太阳能光伏项目，在有效降低能源消耗，减少碳排放的同时，也产生了光伏设施电力接入、消纳、建设以及对机场安全运行影响无法定量评估等一系列问题。为解决这些问题特编制本指南。

本指南主要包括：选址、接入、消纳、建设和安全性评估。首先，在选址方面，提出了考虑因素和建议。机场光伏设施的选址应综合考虑土地利用、光照资源、环境影响、地质条件等因素。选址过程中，需要确保光伏设施不会干扰机场的正常运行，同时充分利用机场周边的可用土地，确保光照充足，提高光伏设施的发电效率。

第二，在接入方面，提出了光伏设施接入机场电力系统的技术要求。光伏设施的接入应符合机场电力系统的安全、稳定和可靠运行要求。接入过程中，需要确保光伏设施与机场电力系统的协调配合，避免对机场电力系统的正常运行造成干扰或影响。

第三，在消纳方面，强调了光伏设施发电的消纳和调度原则。机场光伏设施所发的电能应优先用于机场自身的用电需求，剩余的电能可以通过与电力系统的联网进行消纳。调度过程中，需要综合考虑机场用电负荷的变化和光伏设施发电量的波动，制定合理的调度方案，确保光伏设施发电的充分利用。

第四，在建设方面，提出了光伏设施建设的技术要求。光伏设施的建设应符合国家和地方的相关标准和规范，确保设施的质量和安全性。

最后，在安全性评估方面，提出了光伏设施安全性评估的方法和标准。安全性评估应综合考虑光伏设施对机场运行安全所产生的影响，包含对机场净空、通信导航监视设备、以及飞行员和塔台管制人员眩光等影响，确保设施在运行过程中不会对机场运行安全造成危害。

综上所述，本指南旨在为太阳能光伏设施在机场的应用提供全面的指导和规范。通过明确选址、接入、消纳、建设和安全性评估等方面的要求，以确保太阳能光伏设施在机场的高效、安全和可持续运行。

民用机场光伏设施规划设计指南

1 范围

1.1 为规范我国民用机场太阳能资源利用，指导太阳能光伏设施规划设计，满足机场绿色可持续发展，使机场太阳能光伏设施规划更具系统性和科学性，制定本指南。

1.2 本指南适用于新建、改扩建和既有民用机场工程光伏项目的规划设计。通用机场光伏项目规划设计可参照本指南实行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 2894 《安全标志及其使用导则》
GB 6364 《航空无线电导航台(站)电磁环境要求》
GB 50009 《建筑结构荷载规范》
GB 50011 《建筑与市政工程抗震通用规范》
GB 50058 《爆炸危险环境电力装置设计规范》
GB 50068 《建筑结构可靠性设计统一标准》
GB 50223 《建筑工程抗震设防分类标准》
GB 50797 《光伏发电站设计规范》
GB 51048 《电化学储能电站设计规范》
GB 55001 《工程结构通用规范》
GB 55003 《建筑与市政地基基础通用规范》
GB 55006 《钢结构通用规范》
GB 55008 《混凝土结构通用规范》
GB 55021 《既有建筑鉴定与加固通用规范》
GB 55022 《既有建筑维护与改造通用规范》
GB 55032 《建筑与市政工程施工质量控制通用规范》
GB/T 12326 《电能质量 电压波动和闪变》
GB/T 14285 《继电保护和安全自动装置技术规程》
GB/T 15543 《电能质量 三相电压不平衡》
GB/T 24337 《电能质量 公用电网间谐波》
GB/T 31156 《太阳能资源测量 总辐射》
GB/T 33698 《太阳能资源测量 直接辐射》
GB/T 33699 《太阳能资源测量 散射辐射》
GB/T 35231 《地面气象观测规范 辐射》
GB/T 33593 《分布式电源并网技术要求》
GB/T 36547 《电化学储能系统接入电网技术规定》
GB/T 36558 《电力系统电化学储能系统通用技术条件》
GB/T 40090 《储能电站运行维护规程》

GB/T 42288 《电化学储能电站安全规程》
MH 5001 《民用机场飞行区技术标准》
DL/T 544 《电力通信运行管理规程》
DL/T 516 《电力调度自动化系统运行管理规程》
DL/T 961 《电网调度规范用语》
DL/T 2041 《分布式电源接入电网承载力评估导则》
DB11/T 1893 《电力储能系统建设运行规范》
MH/T 4003.1 《民用航空通信导航监视台（站）设置场地规范 第1部分：导航》
MH/T 4003.2 《民用航空通信导航监视台（站）设置场地规范 第2部分：监视》
MH/T 4046 《民用机场与地面航空无线电台（站）电磁环境测试规范》
NB/T 10353 《太阳能发电工程太阳能资源评估技术规程》
NB/T10115 《光伏支架结构设计规程》
NB/T 33014 《电化学储能系统接入配电网运行控制规范》
T/CEC 175 《电化学储能系统方舱设计规范》

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 机场空中交通管制塔台 airport traffic control tower (ATCT)

场站空中交通管制系统的中央操作设施，由塔台的工作室构筑物构成，包括相应的IFR控制室（如果配备有雷达），使用空地无线通信和（或）雷达、目视信号及其他安全装置，以保证安全迅速的场站空中交通活动。

3.2 最后进近阶段 final approach stage

仪表进近程序的一部分。考虑眩光影响，本指南定义为航空器按照飞行程序规定的最佳下降角度（通常为 3° ），从跑道入口外3.2km处至跑道入口的阶段。

3.3 眩光 glare

由于视野中的亮度或亮度分布的不适宜，或存在极端的对比，以致引起不舒适感觉或降低观察细部或目标能力的视觉现象。本指南定义眩光根据其其对眼睛视物影响程度大小分为视觉残像、视网膜灼伤。

3.4 视觉残像 after image

当外界物体的视觉刺激作用停止后，在眼睛视网膜上的影象仍会持续一定时间的现象，亦称视觉余像或视觉后像。

3.5 视网膜灼伤 retinal burn

光化学或热导致的视网膜损伤。

3.6 站房式储能系统 station building type energy storage system

采用建筑物安装的储能系统。

3.7 集装箱式储能系统 container type energy storage system

采用集装箱、预制舱、户外柜等形式安装的储能系统。

3.8 双电 dual power

从外电网引入的市电和用户内部光伏电站产生的光伏电。

3.9 代表气象站 representative meteorological station

与太阳能发电工程所在地自然地理条件相近、气候特征相似且有实测气象数据或可通过气候学方法推算获得长期太阳辐射数据的气象站。

3.10 典型气象月 typical meteorological month

在累年的时间跨度内，依据气象观测数据的月平均值而选取的某年的某个月，该年该月气象观测数据的月平均值与累年对应月份气象观测数据的平均值最接近。

3.11 典型气象年 typical meteorological year

由 12 个逐月的典型气象月构成的一个假想年。典型气象年的气象数据取自于这 12 个典型气象月，并对月间的逐时气象参数进行平滑处理。

3.12 真太阳时 True solar time

太阳连续两次经过当地观测点的上中天（正午 12 时，即当地当日太阳高度角最高之时）的时间间隔为 1 真太阳日，1 真太阳日分为 24 真太阳时，也称当地正午时间。

3.13 低电压穿越能力 Low voltage ride through

当电力系统事故或扰动引起光伏电站并网点的电压跌落时，在一定的电压跌落范围和时间间隔内，光伏电站能够保证不脱网连续运行。

3.14 潮流 Power flow

电网稳态运行时的电压、电流、功率。

3.15 线变组接线 Line transformer grouping

指线路和变压器直接相连的接线方式。

3.16 送出线路 Transmission line

电力系统中用于将电能从发电站传输到较远距离的变电站或直接到负载中心的高压输电线路。

3.17 自发自用、余电上网模式 Self-power self-consumption/residual grid-connected model

光伏系统所发电能主要由用户自己使用，多余电量馈入公共电网的并网模式。

3.18 全额上网模式 Full amount grid-connected model

光伏系统所发电能全部馈入公共电网的并网模式。

3.19 光伏支架结构 photovoltaic modules support structures

光伏系统中支承各种光伏组件的结构，包括横向抗侧力体系和纵向抗侧力体系。（不需要解释）

3.20 鞭梢效应 whipping lash effect

在地震作用下，建（构）筑物顶部突出屋面部分振幅剧烈增大的现象。

3.21 承载能力极限状态 ultimate limit states

对应于结构或结构构件达到最大承载能力或不适于继续承载的变形的状态。

3.22 正常使用极限状态 serviceability limit states

对应于结构或结构构件达到正常使用的某项规定限值的状态。

3.23 设计工作年限 design service life

指结构或结构构件不需要大修即可完成既定目标的工作年限。（不需要解释）

3.24 设计基准期 design reference period

为确定可变荷载代表值而选用的时间参数。

3.25 结构缝 structural joint

由于结构设计需要而采取的分割混凝土或钢结构间隔的总称。

3.26 机场跑道异物 Foreign Object Debris (FOD)

即可能损伤航空器或系统的某种外来的物质、碎屑或物体。



4 规划与选址

4.1 一般规定

- 4.1.1 机场光伏设施规划设计除应符合本指南外，需符合国家和行业现行有关标准、规范的规定。
- 4.1.2 机场光伏设施在满足安全性和可靠性的同时，宜采用新技术、新工艺、新设备和新材料。
- 4.1.3 机场光伏设施规划设计应遵循“因地制宜、安全优先、科学规划、经济合理”的原则。
- 4.1.4 机场光伏项目应根据机场所在地区资源禀赋和实际电力需求合理制定光伏项目建设目标，提出规划布局及规划指引
- 4.1.5 机场光伏设施规划应与机场的近、远期规划相协调。根据机场所在地区自然条件、电网接入、电力消纳和经济收益等全面考虑，同时对光伏项目配套设施统筹规划。
- 4.1.6 机场光伏项目规划应满足土地和建筑条件、安装和运输条件、环境保护以及文物保护相关要求，并应满足安全可靠、经济适用、便于安装和维护的要求。
- 4.1.7 满足建设要求的机场既有建筑物屋顶，宜设计和建设光伏发电设施。新建机场建筑物屋顶安装光伏项目面积比例应不低于国家及地方的相关规定，且不超过其实际可利用面积。
- 4.1.8 机场范围内面临拆迁、废弃或鉴定为危房的既有建筑屋顶不应安装光伏设施。

4.2 光伏专项规划

- 4.2.1 在光伏专项规划中，机场需根据资源条件、装机容量、电力需求预测和机场减排要求制定光伏项目建设总体目标以及分期目标。
- 4.2.2 在光伏专项规划设计方案中，应明确光伏项目的布局规模，并根据机场电力设施基础提出电气接入和消纳方案。
- 4.2.3 光伏专项规划应就光伏系统做专项评估，并对建设方案提出合理建议。
- 4.2.4 光伏专项规划应就光伏设施对机场飞行区、净空、电磁环境以及产生的眩光效应进行安全性评估，并给出评估结论和改善措施。

4.3 选址

- 4.3.1 地面光伏设施场址应首先考虑不影响机场运行安全，宜选择在地势平坦或北高南低的场地；与建筑物相结合的光伏电站，主要朝向宜为南向或接近南向，且应避免周边障碍物对光伏组件的遮挡。
- 4.3.2 飞行区光伏设施的选址和布局，不得违反《民用机场飞行区技术标准》对飞行区安全的相关要求。
- 4.3.3 光伏设施选址不应对机场塔台工作人员及飞行员产生眩光效应。
- 4.3.4 光伏设施选址应符合《航空无线电导航台（站）电磁环境要求》《民用机场电磁环境保护区域划定规范和保护要求》和《民用航空通信导航监视台（站）设置场地规范》，不应对机场无线电设备产生高于规范允许值的辐射和干扰，不应对有遮蔽角要求的无线电信号产生遮挡。
- 4.3.5 光伏设施选址应满足《民用机场飞行区技术标准》有关净空保护的要求，光伏设施上边缘不得穿越进近面、过渡面、起飞爬升面、内水平面、内进近面、内过渡面和复飞面等障碍物限制面。

4.3.6 机场光伏及其配套设施应根据光伏专项规划、电力系统、电力负荷、场内道路交通和环境保护要求，地形、水文、气象、占地拆迁和施工影响等条件，拟订初步方案，划设初步范围。在对上述因素进行考察和研究的基础上，通过图上作业和现场踏勘，确定初选场址。

4.3.7 机场光伏及其配套设施应在初选场址的基础上对安全性作出评估。从自然资源、地面条件、电力条件、建筑物承重能力、机场空侧安全运行、机场净空条件、通导监设备电磁环境和眩光等方面进行综合分析，将明显影响运行安全、电力安全和建筑物承重的初选场址排除，具体应包含以下内容：

- a) 场址与机场近、远期规划的相符性；
- b) 场址对机场飞行区运行安全、净空安全、电磁环境的影响，光伏项目产生的眩光等光污染对飞行员、塔台工作人员的影响；
- c) 光伏项目对机场用电安全的影响；
- d) 航站楼、货站等建筑物屋顶光伏项目对建筑物承重、后期维修和养护的影响；
- e) 光伏项目对生态环境的影响，水面光伏项目对周边水系的生态产生影响；
- f) 光伏项目的施工难易度以及经济性等。

4.3.8 选址时应对符合光伏设施布设条件场址的土地、建筑物、水面等进行确权，与相关利益方进行沟通，明确场址，给出选址结论；选址结论应描述场址的实际范围，光伏及配套设施的高度，应说明拟建光伏项目及配套设施的电力要求、建设要求等，说明飞行区拟建光伏项目及配套设施的电磁辐射情况，以及可能造成的跑道外来物侵入的影响。



5 太阳能资源量评估

5.1 一般规定

5.1.1 太阳能资源评估应在规划阶段分析机场所在区域太阳能资源特征及变化规律。

5.1.2 机场光伏项目中涉及到的评估数据采集、存储、传输、使用及销毁应符合国家数据管理的有关规定。

5.1.3 太阳能资源评估应采集以下数据：

a) 基础数据：包括水平面总辐射、法向直接辐射量、水平面直接辐射、散射辐射、温度、风速、风向数据及灾害性天气情况。

b) 气象数据：年月平均气温、多年月平均风速、极端最高气温、极端最低气温、多年极大风速及发生时间、主导风向、多年最大冻土深度和积雪深度、多年平均降水量和蒸发量、多年连续最长阴雨天数、雷暴日数、冰雹日数、扬沙日数、浮尘日数、沙尘暴日数及强风日数等气象要素，至少应为近 5 年统计数据。

5.2 太阳能资源分析

5.2.1 典型气象年构建及数据分析包含下列内容

a) 应以气象数据为基础构建满足机场光伏项目需要的典型气象年数据，时间间隔不应大于 1 小时。

b) 当基础数据中无太阳辐射现场观测站实测数据时，宜以代表气象站至少近 5 年的气象数据为基础，或直接采用卫星遥感资料的统计计算数据、物理反演数据构建典型气象月。

c) 当基础数据中有太阳辐射现场观测站实测数据时，宜结合代表气象站长期数据、基于卫星遥感资料的统计计算数据或物理反演数据及太阳辐射现场观测站实测数据进行对比印证，形成典型气象年数据。

d) 应对水平面总辐射、散射辐射的年内变化、典型日内变化及相邻时刻变化率的概率密度分布进行分析，宜根据工程需要对法向直接辐射和反射辐射的年内变化和典型日内变化进行分析。

5.2.2 气象条件分析应包含大风、雷暴、冰雹及暴雨等恶劣天气对光伏项目建设及运行安全的影响，还应分析温度、沙尘、积雪及酸雨对发电效率的影响，应采用观测站近 5 年的气象数据进行分析。

5.3 太阳能辐射量计算

5.3.1 机场太阳能总辐射量分为日总辐射量和月总辐射量。

5.3.2 有太阳能辐射观测点的地点（日射站），日总辐射量由下式计算

$$Q_n = \frac{T I_0}{\pi \rho^2} (\omega_0 \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega) \quad (5.4-1)$$

式中： Q_n ——日天文总辐射量， $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ； T ——时间周期， $24 \times 60 \text{min} \cdot \text{d}^{-1}$ ； I_0 ——太阳常数； ρ ——日地距离常数； δ ——赤纬； φ ——当地纬度； ω_0 ——可照时间

5.3.3 对无太阳能辐射观测点的地点，宜利用最小二乘法求月太阳辐射量。

5.3.4 光伏板倾斜面上辐射量按以下公式计算：光伏组件倾斜面上的总辐射量为倾斜面上的直接辐射量、散射辐射量以及地面反射辐射量之和。

$$H_t = H_{bt}(\theta) + H_{dt}(\theta) + H_{rt}(\theta) \quad (5.4-2)$$

$$H_{bt} = H_b R_b \quad (5.4-3)$$

$$H_{dt} = H_d \times \left[\frac{H_b}{H_0} \times R_b + 0.5 \times \left(1 - \frac{H_b}{H_0} \right) (1 + \cos\theta) \right] \quad (5.4-4)$$

$$H_{rt} = 0.45\rho H(1 - \cos\theta) \quad (5.4-5)$$

$$R_b = \frac{\cos(\phi-\theta)\cos\delta\sin h'_s + \left(\frac{\pi}{180}\right)h'_s\sin(\phi-\theta)\sin\delta}{\cos\phi\cos\delta\sin h'_s + \left(\frac{\pi}{180}\right)h_s\sin\phi\sin\delta} \quad (5.4-6)$$

式中： H_{bt} ——倾斜面上的太阳直接辐射量； H_{dt} ——倾斜面上的太阳散射辐射量； H_{rt} ——倾斜面上的地面反射辐射量； R_b ——倾斜面与水平面上直接辐射量的比值； h_s ——水平面上的日没时角； h'_s ——倾斜面上的日没时角； H_b ——气象站数据，水平面上的直接辐射量； H_d ——气象站数据，水平面上的散射辐射量； H_0 ——大气层外水平面上的太阳辐射量； H ——气象站数据，水平面上的总辐射量； ρ ——地面反射率； ϕ ——电站地理纬度； θ ——光伏组件安装倾角； δ ——赤纬角。

5.3.5 光伏阵列太阳总辐射量

a) 固定安装式光伏组件：倾斜面上的总辐射量为倾斜面上的直接辐射量(H_{bt})、散射辐射量(H_{dt})以及地面反射辐射量(H_{rt})之和。

b) 单轴跟踪系统：以固定倾角，随着太阳轨迹的季节性位置的变换而改变方位角，计算其接收到的太阳辐射总量。固定倾角一般取光伏阵列的最佳倾斜角，即比较太阳能电池方阵倾斜面不同倾角的月平均太阳总辐射量计算结果，得出全年最大太阳总辐射量时对应的倾角。

c) 双轴跟踪系统：随着太阳轨迹的季节性位置的变换而改变方位角和倾角，计算其接收到的太阳总辐射量。

5.3.6 太阳能资源评估结论应包含下列内容

a) 机场光伏项目应采用典型气象年数据计算年水平面总辐照量，以此评估太阳能资源的丰富程度。太阳能资源的丰富程度等级划分可参考 NB/T 10353《太阳能发电工程太阳能资源评估技术规程》的规定。

b) 机场光伏项目应采用典型气象年数据计算各月的日平均总辐射量最大值与最小值之比、各月的日平均法向直接辐射量最大值与最小值之比，以及年水平面直接辐照量和年水平面总辐照量之比，以此评估太阳能资源稳定度。太阳能资源的稳定度等级划分可参考 NB/T 10353《太阳能发电工程太阳能资源评估技术规程》的规定。

6 光伏发电系统

6.1 一般规定

6.1.1 机场光伏项目直流侧的设计电压应高于光伏组件串在当地极端气温下的最大开路电压。

6.1.2 机场光伏项目的安装容量应根据机场所在的场地建设条件，并考虑光伏发电系统设计、光伏方阵布置和环境条件等各种因素来确定。

6.1.3 光伏发电系统中逆变器的配置负载应与光伏方阵的安装容量相匹配，逆变器允许的最大直流输入功率应不小于其对应的光伏方阵实际最大直流输出功率，宜根据太阳能资源条件优化组件和逆变器容量配比。适当增加组件的配置负载。

6.2 主要设备选型

6.2.1 光伏组件可按下列技术因素进行选择：峰值功率、转换效率、温度系数、组件尺寸和重量及功率辐照度特性等。

6.2.2 光伏设备应按太阳光谱辐照度、光谱响应及发电设备工作温度使用环境条件校验。光伏组件及逆变器的类型可按下列条件选择：

- a) 按太阳辐照度、气候特征、场地面积等因素，经过技术经济比较确定。
- b) 太阳辐照度较高、直射分量较大的地区宜选用晶体硅光伏组件。
- c) 当技术经济合理时，宜选用与机场建筑结构相协调的光伏组件，并应符合相应建筑材料的技术要求。
- d) 用于并网光伏发电系统的逆变器性能应符合 GB/Z 19964《光伏电站接入电力系统技术规定》的规定，并具有有功功率和无功功率连续可调功能。
- e) 逆变器可按下列技术条件选择：型式、容量、相数、频率、冷却方式、功率因数、过载能力、温升、效率、输入输出电压、最大功率点跟踪（MPPT）、保护和监视功能、通信接口及防护等级等。
- f) 逆变器应按环境温度、相对湿度、海拔高度、地震烈度及污秽等使用环境条件校验。

6.3 光伏方阵布置及要求

6.3.1 机场光伏设施布置应根据机场地形、设备特点及施工条件等因素合理安排。大、中型机场地面光伏设施宜采用单元模块化的布置方式。

6.3.2 光伏方阵各排、列间距及安装倾角宜保证全年 9:00~15:00（当地真太阳时）时段内前、后、左、右互不遮挡。

6.3.3 地面布置的光伏方阵内光伏组件串的最低点距地面的距离不宜低于 0.3m，并应考虑以下因素：机场的最大积雪深度、洪水水位、植被高度等。

6.3.4 与建筑相结合的光伏方阵设计应综合考虑太阳辐照度、风速、雨水、积雪及雷电等气候条件，以及建筑朝向、屋顶结构等因素，经技术经济性比较后确定方位角、倾角及阵列行距。

6.3.5 大、中型机场地面光伏设施的逆变升压室宜结合光伏方阵单元模块化布置，采用就地布置方式，且靠近主要通道处。

6.3.6 直埋敷设的电缆与电缆、管道、道路、构筑物等之间允许最小距离应符合附录 A“电缆与电缆、管道、道路、构筑物等之间允许最小距离（mm）”规定。

6.4 跟踪系统

6.4.1 跟踪系统可采用单轴跟踪系统和双轴跟踪系统，应具有通讯端口。

6.4.2 跟踪系统的控制方式可采用主动控制方式、被动控制方式及复合控制方式。

6.4.3 跟踪系统的支架应根据不同地区特点采取必要的防护措施。

6.4.4 跟踪系统的选择符合下列要求：综合考虑机场的环境情况、气候特征等因素，经技术经济比较后确定；双轴跟踪系统宜安装在中、高纬度地区；容易对传感器产生污染的地区不宜选用被动控制方式的跟踪系统；遇特殊风压时应具备自动将跟踪系统的角度快速调整至在受风最小位置的功能。

6.5 发电量计算

6.5.1 6.5.1 光伏发电量预测应根据机场所在地的太阳能资源情况，并考虑光伏发电系统设计、光伏方阵布置和环境条件等各种因素后计算确定，上网电量 E_p 应按照本指南公式 6.5-1 计算：

$$E_p = H_t \times S \times K_1 \times K_2 \quad (6.5-1)$$

式中： H_t ——光伏组件倾斜面上的总辐射量（ kW/m^2 ）； S ——为组件面积总和（ m^2 ）； K_1 ——组件转换效率； K_2 ——为系统综合效率。



7 接入系统

7.1 一般规定

7.1.1 应根据机场负荷电压等级、并网点及上网类型制定接入系统方案，接入电压等级和位置可按照本指南附录 B “光伏发电接入电压等级” 确定，接入方案应满足地方电网接入要求。

7.1.2 光伏接入应考虑各相负荷分布的情况，确定接入电压等级及接入方式，确保供电安全。

7.1.3 功率控制和电压调节。

a) 有功功率控制：通过 10kV 及以下电压等级并网的机场光伏应具有有功功率调节能力，输出功率偏差及功率变化率不应超过电网调度机构的给定值，并根据供电部门的批复要求进行配置。接入 10kV 电压等级公用电网的光伏发电站，功率因数应能在超前 0.98 和滞后 0.98 范围内连续可调。

b) 电压/无功调节

1) 机场光伏项目参与配电网电压调节的方式包括调节电源的无功功率、调节无功补偿设备投入量以及调整电源变压器的电压。

2) 机场光伏项目，在并网点处功率因数应满足以下条件：

变流器类型分布式电源应具备保证并网点处功率因数应在超前 0.98 和滞后 0.98 范围内连续可调的能力，有特殊要求时，可做适当调整以稳定电压水平。在其无功输出范围内，应具备根据并网点电压水平调节无功输出，参与电网电压调节的能力，其调节方式和参考电压、电压调差率等参数应可由电网调度机构设定。

7.1.4 机场光伏启停应符合下列要求：

a) 当电网超出标准规定的正常运行范围时，光伏发电系统不启动。

b) 因电网发生扰动脱网后，在电网电压和频率恢复到正常运行范围之前，禁止重新并网。

7.1.5 机场光伏设施运行适应性应满足下列要求：

a) 电压范围

1) 通过 10kV 电压等级直接接入公共电网，应具备一定的低电压穿越能力。

2) 通过 10kV 以下电压等级并网，以及通过 10kV 电压等级接入用户侧的光伏项目，逆变器的并网电压在并网电压要求范围内并网发电，当并网点处电压超出规定的电压范围时，应在要求时间内停止向电网线路送电。

b) 机场光伏项目并网点电压波动和闪变值应满足 GB/T 12326 《电能质量 电压波动和闪变》、谐波应满足 GB/T 14549 《电能质量 公用电网谐波》、间谐波值应满足 GB/T 24337 《电能质量 公用电网间谐波》、三相电压不平衡度应满足 GB/T 15543 《电能质量 三相电压不平衡》要求。

c) 机场所需的光伏逆变器应满足相关工程规范对频率运行的要求。

7.1.6 机场光伏项目电能质量应满足下列要求：

a) 机场光伏项目向当地交流负载提供电能和向电网发送电能的质量，在谐波、电压偏差、电压不平衡度、电压波动和闪变等方面应满足相关国家标准要求。

b) 机场光伏设施所接入公共连接点的谐波注入电流应满足 GB/T 14549 《电能质量 公用电网谐波》的要求。

c) 机场光伏设施接入后, 所接入公共连接点的电压偏差应满足 GB/T 12325 《电能质量 供电电压偏差》的要求, 所接入公共连接点的电压波动和闪变值应满足 GB/T 12326 《电能质量 电压波动和闪变》的要求, 所接入公共连接点的电压不平衡度应满足 GB/T 15543 《电能质量 三相电压不平衡》的要求。

7.1.7 潮流计算: 以 10kV 及以下电压等级并网的机场光伏接入系统方案, 应具备潮流计算内容。计算应分析典型方式下光伏出力变化引起的线路功率和节点电压波动, 并应避免出现节点电压越限。通过计算, 检验机场光伏电站接入电网方案, 选择导线截面和电器设备的主要参数以及选择调压装置、无功补偿设备及其配置。

7.1.8 短路电流计算

a) 以 10kV 及以下电压等级并网的机场光伏接入系统方案, 应具备短路电流计算内容。计算应包括机场光伏并网点、附近节点本期及远景规划年最大允许方式的三相和单相短路电流。应合理控制机场光伏并网点、附近节点短路电流, 不宜超过节点断路器遮断容量。

b) 电气设备选型应满足短路电流计算的要求。

7.2 电气一次系统

7.2.1 电气一次系统主要设计内容应根据机场光伏接入电压等级、并网点形式等, 确定采用相应典型设计方案, 并提出对有关电气接线、电气设备选型的要求。

7.2.2 设计深度应包括机场光伏接入系统方案, 对升压站主接线、设备参数选型提出要求, 提出系统对机场光伏的技术要求。

7.2.3 技术原则

a) 主接线

1) 10kV 及以下电压等级并网的分布式光伏宜采用线变组接线或单母线接线;

2) 380 (220) V 并网时, 宜采用单母线接线;

3) 分布式光伏系统的接地方式应根据配电网侧的接地方式合理选择, 并满足人身设备安全和保护配合的要求。

b) 送出线路导线, 分布式光伏送出线路导线截面选择应遵循以下原则:

1) 分布式光伏送出线路导线截面选择应根据送出容量、并网电压等级及分布式光伏发电效率等因素选取;

2) 分布式光伏送出线路导线截面宜按持续极限输送容量选择。

3) 电缆敷设可采用直埋、电缆沟、电缆桥架及电缆线槽等方式。动力电缆和控制电缆宜分开排列。

c) 开断设备, 设备开断能力应根据并网点短路电流水平选择, 并留有一定裕度。新建光伏系统工程接入开断设备应配置断路器; 对于既有光伏系统, 公共连接点采用负荷开关时, 应改造为断路器并满足相应要求。

1) 分布式光伏接入 380 (220) V 配电网时, 应设置明显开断点。并网点开关设备应采用易操作、具有明显开断指示、可开断故障电流能力的开关。开关应根据短路电流水平选择开断能力, 并留有一定裕度, 具备电源端与负荷端反接能力。

2) 分布式光伏 10kV 电压等级并网时, 开断设备应易操作、可闭锁、可遥控, 宜选用高压开关柜或一二次融合断路器设备, 具备接地、故障电流开断功能。应在分界点处安装断路器开关。根据短路电流水平选择设备开断能力, 并留有一定裕度, 宜不小于 20kA。断路器应具备失压跳闸、过压跳闸、检有压合闸及高/低频解列功能, 并配置双侧电压互感器。

3) 分布式光伏 T 接 10kV 公共/用户线路时采用柱上自动化断路器, 包括双侧隔离开关、馈线终端 FTU。

4) 分布式光伏接入公共/用户环网开关站、配电室或箱变 10kV 母线时, 应采用断路器开关柜。

d) 分布式光伏的升压站主变压器选择应符合现行行业标准 DL/T 5222《导体和电器选择设计技术规定》的规定, 参数宜按现行国家标准 GB/T 6451《油浸式电力变压器技术参数和要求》、GB/T 10228《干式电力变压器技术参数和要求》、GB 20052《三相配电变压器能效限定值及节能评价》或 GB 24790《电力变压器能效限定值及能效等级》的规定进行选择。

e) 电流互感器

1) 电流互感器应按三相选择, 其变比应按满足系统短路电流确定。

2) 应配置专用零序电流互感器, 并满足接地时准确测量零序电流需要。

f) 防雷接地装置应符合现行国家标准 GB/T 50065《交流电气装置的接地设置规范》、GB/T 50064《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合设计规范》等。

7.3 电气二次系统

7.3.1 电气一次系统设计内容及深度应符合下列要求

a) 系统继电保护主要设计内容包括继电保护及防孤岛配置方案等。应根据机场光伏项目接入系统方案, 提出系统继电保护的配置原则及方案。

b) 系统调度自动化主要设计内容包括调度管理关系确定、系统远动配置方案、远动信息采集及通道组织等内容。应根据配电网调度管理规定, 结合机场光伏类型和接入配电网电压等级确定调度关系。

7.3.2 技术原则

a) 光伏继电保护及安全自动装置配置应满足可靠性、选择性、灵敏性及速动性的要求, 技术条件应满足 GB/T 14285《继电保护和安全自动装置技术规程》, GB/T 33593《分布式电源并网技术要求》等。

b) 线路保护应保证电网可靠性, 兼顾机场光伏运行方式, 采取有效保护方案。若光伏电站侧为线变组接线, 并经升压变后直接输出, 不配置母线保护。

c) 光伏发电系统应具备快速监视孤岛且立即断开与电网连接的能力, 防孤岛保护应与电网侧线路保护重合闸、安全自动装置动作时间相配合。

7.3.3 系统调度自动化应符合下列要求

a) 一般性要求: 机场光伏通信运行、调度自动化及并网运行信息采集与传输应满足 DL/T 516《电力调度自动化系统运行管理规程》、DL/T 544《电力系统通信管理规程》等相关标准要求。

b) 调度自动化需求: 根据配电网区域发展差异, 按照降低接入系统投资和满足配网智能化发展的要求选择通信方式。宜利用现有配网自动化系统和营销集抄系统。机场光伏应按当地相关规定执行调度管理。

c) 远动系统信息内容：10kV 接入的机场光伏项目，应能够实时采集并网运行信息，主要包括并网设备状态、并网点电压、电流、有功功率、无功功率及发电量等。上传远动信息内容应由机场光伏项目设计方提供并由供电部门确认。10kV 以下并网项目，应采集电能信息，预留并网点断路器位置状态等信息采集能力。

远动系统控制要求：机场光伏远动控制系统应按照供电部门的要求运行。

远动系统方案及信息传输：

以 10kV 电压等级接入的光伏，远动系统功能宜由监控系统集成，监控系统具备信息远传功能；监控系统不具备条件时，应独立配置远方终端，实现监控系统信息远传。远动网关装置应配置双电源模块，其他场站端装置宜配置双电源模块，或采用静态切换装置实现双路供电。

以 10kV 以下电压等级接入的光伏，应配置无线采集终端装置或接入现有集抄系统实现信息采集及远传。

d) 光伏监控系统应具备实时监视、全场控制、发电功率预测及消纳感知分析等功能，宜通过与电力管控类平台的信息交互，进行双电耦合、源网荷储联动。

e) 信息传输

以 10kV 并网的机场光伏项目可采用专网方式或公网方式，单路配置远动通道；专网应按照地区配网通信网的接入节点配置要求进行部署。光伏接入各地区地调、备调的各类主站端，应接收电厂远动信息、电能量数据等各类调度数据业务；上述调度主站应完成软硬件接口配置、系统联合调试等工作。

以 10kV 以下并网的机场光伏项目，有控制要求的宜采用光纤通信方式；无控制要求的可采用无线公网通信方式，并采取信息安全防护措施。

7.4 通信系统

7.4.1 机场光伏项目通信规划设计内容应包括调度管理关系、介绍通信现状和规划、分析通道需求、提出通信方案及确定通道组织方案等。通信系统设计方案应根据机场光伏项目的调度组织关系、装机容量、接入电压等级以及各业务应用系统对通道数量和质的要求来确定。

7.4.2 技术原则

a) 机场光伏项目应具备与供电部门之间进行数据通信的能力。并网双方的通信系统应以满足电网安全经济运行对电力通信业务的要求为前提，满足相应的二次专业对通信的要求。

b) 对于实现“三遥”功能的节点可采用光纤通信或无线公网通信。具备遥控功能的配电自动化区域宜采用专网通信方式。对于依赖通信技术手段实现故障自动隔离的馈线自动化区域，宜采用光纤专网通信方式。

7.5 计量

7.5.1 机场光伏发电计量系统规划设计内容应包括电能表计配置、计量装置精度、传输信息及通道等要求。

7.5.2 技术原则

a) 光伏发电接入电网前，应明确上网电量计量点和用电量计量点。每个计量点均应装设电能计量装置，同时接入计量自动化系统，满足电能量数据远程采集的要求。

采用发自自用、余电上网模式的机场光伏项目接入公共电网前，应分别设置关口电量计量点、发电量计量点及客户自用负荷用电量计量点，满足机场光伏发电上网电量（发电量）计量。

采用全额上网模式的机场光伏项目应设置关口电量计量点，满足机场光伏发电上网电量（发电量）计量。

b) 计量点设置技术要求，机场光伏发电电能计量表应符合电网相关电能表技术规范，具备双向计量、分时计量及电量冻结等功能，并支持载波、RS485 或无线通信等多种通信方式，适应不同使用环境下数据采集需求。

10kV 接入类用户，关口电能计量点选择高供高计计量方式，应在电力设施的产权分界点及机场光伏并网点（光伏电源汇聚点）分别设置电能计量装置。

10kV 以下接入类用户，关口电能计量点、发电量计量点选择低压计量方式，应在电力设施的产权分界点及机场光伏并网点（光伏电源汇聚点）分别设置电能计量装置。

计量装置接线及配置技术设计原则，应参照电网公司对应电压等级、应用场景的电能计量装置典型设计设置。

c) 电能量计量装置配置要求

电能计量装置的设备配置和技术要求应符合 DL/T 448《电能计量装置技术管理规程》，以及相关标准、规程要求。

电能量计量装置应接入计量自动化系统，满足发电量、上网电量以及负荷曲线的自动采集和统计。电能量计量装置可通过配置负荷管理终端、低压集抄设备或 4G 远程通信模块等方式接入计量自动化系统。

8 光伏消纳

8.1 一般规定

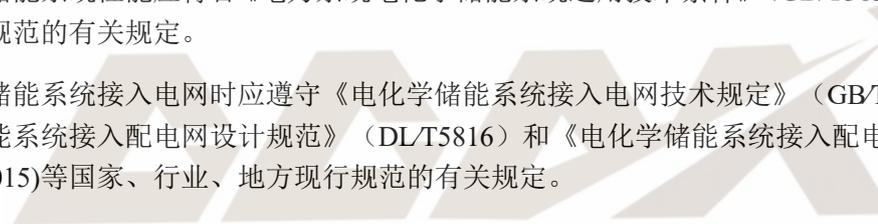
- 8.1.1 光伏消纳方案应结合机场能源发展总体规划，特别是机场电网建设发展、用电负荷增长情况，统一考虑、有序实施。
- 8.1.2 光伏并网的电压等级选择应根据消纳点距离及用电设备实际容量需求、技术要求、工程投资等因素确定。
- 8.1.3 光伏不应作为消防应急电源。
- 8.1.4 对外网电源供给保障等级、能力的要求不应因场内设置光伏而降低和减小。
- 8.1.5 当光伏的发电量大于使用量时，在经济、技术可行的前提下宜配置储能系统。
- 8.1.6 储能系统的建设和运行应结合储能技术类型、应用场景和安全风险，做到安全、可靠、节能、环保、适用。

8.2 消纳方式

- 8.2.1 建筑单体处设置的光伏宜采用 10kV 以下电压并网，就近消纳、就地平衡；无法完全消纳需要远输，功率不超过 400kW 且距离不超过 200m 时宜采用 10kV 以下电压。
- 8.2.2 远离合适消纳点的飞行区地面、水面、建（构）筑物等处的光伏发电宜经升压后采用 10kV 电压远输他处消纳。逆变器、升压变压器等可选择安装于预制箱体，并应有散热措施。
- 8.2.3 特种车库等电动车辆集中充电点、数据中心等处宜考虑光储直柔配电系统。二级及以上用电负荷不应参与用电柔性调节，除非可以确定其正常的功能保障能力不受影响。
- 8.2.4 采用非逆流并网方式时，相近条件下并网接入点应选择电力需求较大且用电负荷波动率相对较小的配电室、变电所或开闭站。
- 8.2.5 采用逆流并网方式时，应做潮流分析和保护动作、电能质量分析等仿真模拟。
- 8.2.6 当采用逆流并网模式时，应根据《分布式电源接入电网承载力评估导则》（DL/T2041）的要求，避免主变、配变和线路反向过载。

8.3 储能系统

- 8.3.1 储能系统宜采用电化学储能方式，系统设计应符合《电化学储能电站设计规范》（GB51048）的有关规定。
- 8.3.2 储能系统的总能量不宜超过无储能状态下 24h 内的市电供给能量，若超配应进行充分的经济技术分析。
- 8.3.3 配置储能系统时宜根据实际需要考虑到削峰填谷、电力需求响应、紧急功率支撑等功能。
- 8.3.4 储能系统宜在主要并网点附近集中建设，并选用 10kV 以下电压并网。
- 8.3.5 火灾危险性为甲、乙类的站房式储能系统，每栋建筑总额定能量不应超过 10MWh。火灾危险性为甲、乙类的集装箱式储能系统，每个集装箱总额定能量不应超过 2.5MWh。分散式储能装置在同一个并网点总额定能量不应超过 2.5MWh。
- 8.3.6 储能装置应满足 10 年（5000 次循环）以上工作寿命，系统容量 10 年衰减率不超过 20%。

- 8.3.7 储能系统在并网点应安装可闭锁、具有明显开断点、可实现接地功能的开断设备，具备开断故障电流的能力，可就地或远方操作。
- 8.3.8 储能系统应配置防孤岛保护，非计划孤岛情况下应在 2s 内与电网断开。
- 8.3.9 储能系统应具备过充电/过放电保护、短路保护、过流保护、温度保护、漏电保护等功能。
- 8.3.10 储能系统应配置故障录波系统，记录故障前 10s 到故障后 60s 的相关信息。
- 8.3.11 有可燃气体或者粉尘产生风险的区域应按照爆炸危险环境对待，相关设计应满足《爆炸危险环境电力装置设计规范》（GB50058）的有关规定。
- 8.3.12 储能系统应根据电池类型配置电池管理系统。
- 8.3.13 储能系统安装场所应设置火灾自动报警系统、自动灭火系统等，宜根据所选电池的特性需要设置可燃气体监视报警系统，并应满足机场的安保要求。
- 8.3.14 储能系统的线缆应采用 A 级阻燃型。与储能系统无关的线缆不应穿过储能系统。
- 8.3.15 储能系统安装场所应干燥清洁、通风良好、不受阳光直射，距离热源不得小于 2m。。
- 8.3.16 储能系统所用集装箱体的选择可参照《电化学储能系统方舱设计规范》（T/CEC175）的相关要求。
- 8.3.17 储能系统性能应符合《电力系统电化学储能系统通用技术条件》（GB/T36558）等国家、行业、地方现行规范的有关规定。
- 8.3.18 储能系统接入电网时应遵守《电化学储能系统接入电网技术规定》（GB/T36547）、《分布式电化学储能系统接入配电网设计规范》（DL/T5816）和《电化学储能系统接入配电网技术规定》（NB/T33015）等国家、行业、地方现行规范的有关规定。
- 8.3.19 储能电站的管理需遵守《电化学储能电站安全规程》（GB/T42288）和《储能电站运行维护规程》（GB/T40090）等国家、行业、地方现行规范的有关规定。
- 

9 土建结构

9.1 一般规定

9.1.1 光伏支架结构设计除应满足承载能力极限状态和正常使用极限状态外，还应满足耐久性和防腐等要求。

9.1.2 在既有建(构)筑物上设计光伏支架结构时，应对既有建(构)筑物的结构安全进行检测鉴定。当原结构承载能力不足时，应先加固原结构。

9.1.3 光伏支架的设计工作年限宜为 25 年；当光伏产品的设计工作年限超过 25 年时，应不小于光伏产品的设计工作年限。

9.1.4 光伏支架结构安全等级航站区宜取三级，飞行区为二级。

9.1.5 光伏支架应进行抗震设计，抗震设防类别宜为丙类。

9.1.6 同一结构单元的光伏构件不应跨越结构缝（变形缝、伸缩缝、抗震缝）。

9.1.7 新建光伏一体化的光伏支架设计工作年限、抗震设防类别、安全等级均应与一体化建筑主体结构一致。

9.1.8 光伏支架主体结构构件之间的连接宜采用螺栓连接，且连接螺栓宜对称布置。

9.1.9 光伏组件与支架的连接可采用螺栓连接、压块连接、结构胶粘接等，连接强度及耐久性应经过计算或试验验证。

9.1.10 光伏支架结构设计除应符合本指南的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

9.2 结构设计

9.2.1 机场光伏方阵支架设计应结合工程实际，合理选用材料、结构方案和构造措施，保证结构在运输、安装和使用过程中满足强度、稳定性和刚度要求，符合抗震、抗风和防腐等要求。

9.2.2 支架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，按正常使用极限状态计算结构和构件的变形。

9.2.3 光伏支架基本风压的确定应符合现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009 的有关规定，且不应小于 0.30kPa。在光伏支架可能暴露于喷气气流的地方，应结合支架的布置位置机场运行的最大机型，保证支架可承受相应的最大尾流风力荷载。

9.2.4 光伏支架风荷载、雪荷载及其他相关荷载应按现行国家标准的规定取值。

9.2.5 支架的荷载和荷载效应计算应符合以下规定：

- a) 按《建筑结构荷载规范》（GB50009）取重现期不低于 25 年的风荷载和雪荷载；
- b) 支架的荷载和荷载效应计算考虑无地震作用效应组合与有地震作用效应组合；
- c) 支架设计宜对施工检修荷载进行验算。

9.2.6 新建光伏一体化的光伏支架基本风压重现期、基本雪压重现期均应与一体化建筑主体结构一致，且设计基准重现期不应低于 25 年。

9.2.7 支架基础应进行承载力验算和稳定性验算，稳定性验算包括抗滑移、抗拔、抗倾覆验算。

9.2.8 光伏支架的结构体系应根据所处环境、基础布置是否受限等因素合理选择。应避免极端工况下支架破坏形成飞行区 FOD。

9.2.9 光伏支架结构宜按空间结构进行内力分析，可简化为平面结构进行计算。支架材料及连接设计指标应符合现行国家标准的有关规定。

9.2.10 光伏支架结构的连接和节点构造做法应与计算假定一致，保证传力路径明确、构造合理、安全可靠。

9.2.11 光伏支架结构基础的形式应依据边界条件、地基变形量、地基承载力及布置情况等确定。屋面光伏支架基础的布置不应影响所在屋面部位的建筑防水和排水效果。

9.3 抗震与防护设计

9.3.1 在抗震设防地区，支架应进行抗震验算。

9.3.2 光伏支架的抗震设计应符合下列规定：

- a) 具有明确的计算简图和合理的地震作用传递途径；
- b) 保证连接节点不先于构件破坏；
- c) 避免因部分结构或构件破坏导致整个结构丧失抗震能力或丧失对重力荷载的承载能力；
- d) 具备良好的变形能力和塑性耗能能力；
- e) 对可能出现的薄弱部位采取措施提高其抗震能力。

9.3.3 光伏支架的地震作用效应宜采用振型分解反应谱法计算，对于可近似于单质点体系的支架结构，可采用底部剪力法计算。

9.3.4 光伏支架结构构件的抗震承载力验算时，承载力抗震调整系数的取值应符合国家现行有关规定，建(构)筑物顶部光伏支架应考虑鞭梢效应。

9.3.5 光伏支架结构防护应按照全寿命周期的耐久性能目标，在正常维护条件下能保证结构正常使用。

9.3.6 光伏支架结构构件的设计耐火极限应根据建筑的耐火等级和构件类别确定。

9.3.7 光伏支架结构应根据设计耐火极限采取相应的防火保护措施，或进行耐火验算与防火设计。

9.3.8 光伏构件或方阵的支架、支撑金属件和其他的安装材料，应根据光伏系统设定的工作年限选择相应的耐火材料，并采取适宜的维护保养方法。受盐雾影响的安装区域和场所，应选择符合使用环境的材料及部件作为支撑结构，并采取相应的防护措施。

9.4 施工及维护

9.4.1 光伏工程施工宜实行绿色施工，施工前宜编制绿色施工专项方案，满足节能、节地、节水、节材和环境保护。

9.4.2 光伏工程施工应符合国家和行业有关施工安全的规定，施工组织设计应包含安全生产方案和安全生产应急预案。

9.4.3 在既有建(构)筑物上施工光伏支架结构时，应对现状结构及设备设施做好保护，且作用在现状结构上的荷载不应超过设计允许值。

9.4.4 涉及不停航施工的光伏工程，应制定不停航施工组织方案（含应急预案），在满足施工的同时，减少施工对运营的影响。

9.4.5 光伏支架结构应根据结构安全性等级、结构类型及使用环境，建立全寿命周期内的结构使用、维护管理制度。

9.4.6 光伏支架结构维护应遵守“预防为主、防治结合”的原则，进行日常维护、定期检测与鉴定。



10 安全风险评估

10.1 一般规定

10.1.1 对机场内拟建光伏项目，应结合光伏建设方案进行安全风险分析。分析结果宜包括对机场无安全影响、对机场有安全影响但可通过优化方案消除、对机场有安全影响但通过优化方案无法消除等情况进行分析。

10.1.2 机场外拟建光伏项目，宜根据其位置及规模大小进行具体分析。

10.1.3 安全风险分析应采用定性、定量及仿真模拟的方法。采取的仿真模拟方法应合理、准确，能最大程度反映现实情况。

10.1.4 在光伏项目规划设计方案完成后，宜另行组织安全风险专项评估。

10.2 主要风险因素

10.2.1 光伏及其配套设施的建设运维应考虑以下风险因素：

- a) 布设位置影响航空器地面运行；
- b) 光伏及其配套设施因零件脱落造成跑道外来物侵入等安全风险
- c) 飞行区活动区尾流吹袭造成的光伏及其配套设施零件脱落的安全风险。

10.2.2 光伏及其配套设施建设运维对机场净空的影响应考虑以下风险因素：

- a) 位于地面的光伏设施对机场净空的影响；
- b) 位于建筑物屋顶或塔架上的光伏设施对机场净空的影响；
- c) 施工期间塔吊等施工设施对机场净空的影响。

10.2.3 光伏及其配套设施对机场电磁环境的风险考虑以下因素：

- a) 光伏及其配套设施的电磁辐射对机场地面及航空器无线电设备信号的干扰；
- b) 光伏及其配套设施对机场地面及航空器无线电设备信号传播的遮挡。

10.2.4 光伏及其配套设施产生眩光风险考虑以下因素：

- a) 光伏及其配套设施 1 个自然年对塔台工作人员产生的眩光；
- b) 光伏及其配套设施 1 个自然年对最后进近阶段、跑滑路径上飞行员产生的眩光。

10.3 安全性分析

10.3.1 安全性分析的流程应包括准备、实施和总结。

a) 准备：收集数据及资料。主要包括，机场基准点坐标、塔台坐标、塔台高度、飞机进离场航迹、光伏及其配套设施位置、光伏板安装高度及倾角、光伏板表面材料反射率等；

b) 实施：对可能产生的安全风险进行分析和评估；

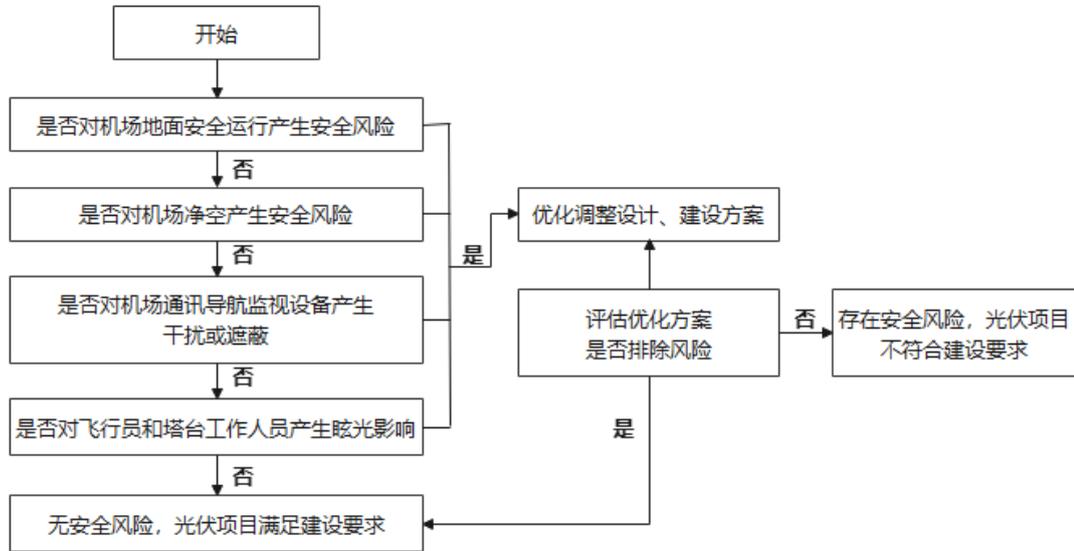


图 10.3.1-1 安全风险分析流程图

c) 总结：对可能产生的风险和问题进行总结，对不符合安全要求的部分应提出优化或调整方案，若无法通过优化或调整消除风险，应放弃建设光伏。

10.3.2 机场飞行区运行安全风险分析要点

a) 应对进入机场飞行区的光伏项目安装位置进行分析，不应在升降带、跑道端安全区、净空道、滑行道位置安装光伏及其配套设施。

b) 对于精密进近跑道，无障碍区内不应安装光伏及其配套设施。

10.3.3 机场电磁环境安全风险分析要点

a) 应对机场地面无线电台站，航空器机载无线电信号进行分析。光伏设施不应进入无线电设施保护区。

b) 应对光伏及其配套设施的线缆埋设深度和位置与机场通讯导航监视设备的电磁环境要求进行符合性分析

c) 应对光伏设施可能产生的无线电信号遮蔽进行分析，避免影响信号的传输。

d) 应对光伏设施与机场及航空器通信导航监视等无线电通讯设备的电磁兼容性分析

10.3.4 机场眩光风险标准及分析要点

a) 分析要点

1) 应对机场现有或规划中的塔台管制室的工作人员和最后进近阶段的飞行员眩光效应进行分析，光伏板不应存在中、高眩光风险（潜在的视觉残像），可存在低眩光风险（低视觉残像）；

2) 通过机场区域太阳法向直接辐照度(DNI)、光伏板面积、光伏板反射率和光伏板距离塔台的距离等参数分析光伏板反射光线对塔台工作人员的眩光影响；

3) 通过机场区域太阳法向直接辐照度(DNI)、光伏板面积、光伏板反射率和光伏板与飞机的距离等参数分析最后进近阶段(跑道入口前 3.2km 远、3 度的下滑角度)光伏板反射光线对飞行员产生的眩光影响；

4) 光伏板的反射率随着入射角的变化而变化，在仿真模拟中应予以考虑；

5) 光伏板眩光影响的评估结论应给出是否产生眩光、眩光出现位置、眩光出现时间、眩光持续时间及眩光对眼部的影响程度等。

b) 评估标准

1) 首先，评估光伏板是否产生眩光。光伏板不产生眩光包括以下两种情况：

情况一，飞行员或塔台工作人员看不到光伏板。光伏板反射光线不会照射到飞行员或塔台工作人员眼中，或者有物体阻挡了飞行员或塔台工作人员看到光伏板的视线，或者受相对高度等因素的影响从飞行员和塔台工作人员的位置看不到太阳光伏板。

情况二，飞行员或塔台工作人员能看到光伏板。但参照附录 C 判定后，无运行安全风险。

如果光伏板存在以上两种情况的任何一种，可认为光伏板不产生眩光安全风险。

2) 如果不能排除无眩光风险，应进行眩光计算。计算塔台工作人员和飞行员在最后进近阶段在一个自然年中逐时的太阳反射光对人眼球的辐照度（判断标准见附录 C “光伏板反射光强度对飞行员和塔台管制人员的风险判”），并根据附录 C 中的视网膜辐照度阈值判断是否产生中、高眩光风险，并计算其发生及持续时间。若建设方希望在此处建设光伏，应对光伏板倾角、朝向等进行调整，使其处于低风险；若调整后仍处于中、高风险，则应放弃在此处建设光伏。



附录 A 电缆与电缆、管道、道路、构筑物等之间允许最小距离（单位：m）

电缆直埋敷设时的配置情况		平行	交叉
控制电缆之间		——	0.5 ^①
	10kV 及以下电力电缆	0.1	0.5 ^①
	10kV 及以上电力电缆	0.25 ^②	0.5 ^①
不同部门使用的电缆		0.5 ^②	0.5 ^①
电缆与地下管沟	热力管沟	2.0 ^③	0.5 ^①
	油管或易(可)燃气管道	1.0 及	0.5 ^①
	其他管道	0.5 及	0.5 ^①
电缆与铁路	非直流电气化铁路路轨	3.0 及	1.0 及
	直流电气化铁路路轨	10.0 及	1.0 及
电缆与建筑物基础		0.6 ^③	——
电缆与道路边		1.0 ^③	——
电缆与排水沟		1.0 ^③	——
电缆与树木的主干		0.7 及	——
电缆与及 1kV 及以下架空线电杆		1.0 ^③	——
电缆与及 1kV 及以上架空线杆塔基础		4.0 ^③	——

注：①用隔板分隔或电缆穿管时不得小于0.25m；

②用隔板分隔或电缆穿管时不得小于0.1m；

③特殊情况时，减少值不得大于50%

附录 B 光伏发电接入电压等级

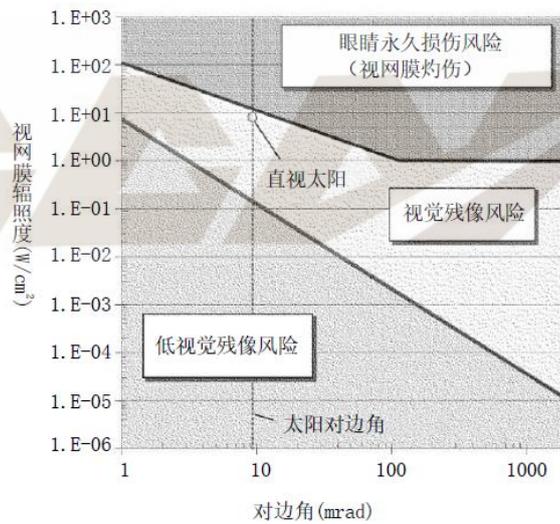
序号	并网点报装容量	接入位置	等级	送出线路回路数
1	<8kW	公共/用户电网低压综合配电箱/线路	220V	1
2	8kW~400kW	公共/用户配电室、箱变或柱上变压器低压母线/线路	380V	1
		若现场配变容量不满足单回接入需求，采用多回 10kV 以下线路接入不同公共/用户配电室、箱变或柱上变压器低压母线/线路	380V	多回
3	400kW~6000kW	T 接公用电网 10kV 线路或环网开关站、配电室或箱变 10kV 间隔	10kV	1
		若导线截面或开关遥断容量不满足单回接入需求，宜采用多回线路 T 接公用电网 10kV 线路或接入环网开关站、配电室或箱变 10kV 间隔	10kV	多回



附录 C 光伏板反射光强度飞行员和塔台管制人员的风险判定

风险判断	判断参数	风险等级
无眩光风险	飞行员或塔台工作人员看不到光伏板	无
	飞行员或塔台工作人员能够看到光伏板但光伏板面积较小，飞行区、航站区光伏板面积小于 10 m ² ，公共区(非飞机最后进近阶段路线下方)光伏板面积小于 100 m ²	无
有眩光风险	光伏板反射光对视网膜辐照度低于阈值($E_{r, flash}$) $E_{r, flash} = \frac{3.59 \times 10^{-5}}{\omega^{1.77}}$ $E_{r, flash}$ 为视网膜辐照度阈值, w/cm ² ; ω 为源角, 即光源与眼睛视线所形成的角度, 毫弧度 mrad。	低
	视网膜辐照度 E_r 等于视网膜辐照度阈值 $E_{r, flash}$	中
	视网膜辐照度 E_r 高于视网膜辐照度阈值 $E_{r, flash}$	高

注：光反射阈值可参考由桑迪亚国家实验室 (Sandia National Laboratories) 推出的 Solar Glare Hazard Analysis Tool (SGHAT) 或具有同样功能的仿真软件进行光照强度和持续时间的判定。



附图 太阳眩光风险划分

附录 D 光反射仿真参数

类别	项目	参数设置
基本参数	天气	晴、无云
	遮挡物	无
	眼透射系数	0.5
	太阳对边角	9.3 mrad
	瞳孔直径	0.002 m
	眼睛焦距	0.017 m
	眨眼时间	0.15 s
	最大直接法向辐照度 (DNI)	1000 W/m ²
	分析时间间隔	1 min
机场光反射仿真	分析方法	塔台及最后进近阶段航迹
	最后进近阶段航迹分析点	不低于 9 个分析点
	最后进近阶段航迹视场角 (FOV)	水平 100°，垂直 30°

