

T/CCAATB

中国民用机场协会团体标准

T/CCAATB XXXXX—2022

民用机场光伏设施规划设计指南

Guide for Planning and Design of Photovoltaic Facilities

in Civil Aviation Airport

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国民用机场协会 发布

前 言

为规范光伏及其配套设施在我国民用运输机场范围内的安全高效使用，在深入开展机场光伏项目规划设计方法研究和借鉴国内外绿色机场、可再生能源、绿色建筑等相关标准基础上制定本指南、

本指南共分9章。第1章“总则”，由中国民航科学技术研究院，山西航空产业集团有限公司；第2章“术语”，由中国民航科学技术研究院编写；第3章“规划与选址”，由中国民航科学技术研究院编写；第4章“太阳能资源量评估”、第5章“光伏发电”、第6章“接入系统”由南京天溯自动化控制系统有限公司编写；第7章“光伏消纳”、第8章“土建结构”由华设设计集团北京民航设计研究院有限公司编写；第9章“安全风险评估”由中国民航科学技术研究院、华设设计集团北京民航设计研究院有限公司、上海时代之光照明电器检测有限公司共同编写。北京首都机场动力能源公司、海口美兰国际机场、新疆机场集团有限责任公司在本指南编制过程中提供大量实际应用指导建议。

本指南由中国民用机场协会标准化专委会提出并归口，本文件为首次发布。

本指南由中国民用机场协会批准。

本指南起草单位：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

海口美兰国际机场

新疆机场集团有限责任公司

主 编：贾钦 郝薛文 聂艳丽 陈阳 刘成 温治纲

参编人员：李雪刚 虞再道 傅博 邹文波 王森、张恩奇、苗家瑞、王绍熙 雷芹芹 陈颖 柯猛 宋张炜 陶赞 于敬磊 贾全星 黄诗意 王琦 张晓静 唐恒毅

目次

Contents

| | |
|---------------------|----|
| 前 言 | I |
| 1 总则 | 1 |
| 2 术语 | 2 |
| 3 规划与选址 | 4 |
| 3.1 一般规定 | 4 |
| 3.2 总体规划 | 4 |
| 3.3 选址 | 5 |
| 4. 太阳能资源量评估 | 7 |
| 4.1 一般规定 | 7 |
| 4.2 数据采集及相关要求 | 7 |
| 4.3 太阳能资源分析 | 8 |
| 4.4 太阳能辐射量计算 | 8 |
| 5. 光伏发电 | 11 |
| 5.1 一般规定 | 11 |
| 5.2 主要设备选型 | 11 |
| 5.3 光伏方阵布置及要求 | 12 |
| 5.4 跟踪系统 | 12 |
| 5.5 发电量计算 | 13 |
| 6 接入系统 | 14 |
| 6.1 一般规定 | 14 |
| 6.2 电气一次专业 | 16 |
| 6.3 电气二次专业 | 17 |
| 6.4 通信专业 | 19 |
| 6.5 计量 | 19 |
| 7. 光伏消纳 | 21 |
| 7.1 一般规定 | 21 |
| 7.2 消纳方式 | 21 |
| 7.3 储能系统 | 22 |
| 8 土建结构 | 24 |
| 8.1 一般规定 | 24 |
| 8.2 结构设计 | 24 |
| 8.3 抗震与防护设计 | 25 |
| 8.4 施工及维护 | 26 |
| 9 安全风险评估 | 28 |
| 9.1 一般规定 | 28 |
| 9.2 主要风险因素 | 28 |

9.3 安全性分析 29

附录 A 电缆与电缆、管道、道路、构筑物等之间允许最小距离 32

附录 B 光伏发电接入电压等级 33

附录 C 视角及光伏板反射光强度计算方法 34

附录 D 机场光伏设施眩光风险评估标准 35

1 总则

1.0.1 为规范我国民用运输机场太阳能资源利用，指导太阳能光伏设施规划建设，保证机场安全运行，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，制定本规范。

1.0.2 本指南适用于新建、改扩建和现有民用运输机场光伏项目的规划建设。

1.0.3 机场光伏设施设计在满足安全性和可靠性的同时，应优先采用新技术、新工艺、新设备、新材料。

1.0.4 机场光伏设施规划建设应遵循因地制宜、安全优先、科学规划、经济合理的原则。

1.0.5 机场光伏设施规划建设除应符合本指南外，需符合国家和行业现行有关标准、规范的规定。

2 术语

2.0.1 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，有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、目视信号及其他装置，以保证安全迅速的场站空中交通活动，（简称塔台）。

2.0.2 最后进近 final approach

仪表进近程序的一部分。开始于规定的最后进近定位点。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。

2.0.3 仪表着陆系统 instrument landing system

为航空器提供航向道、下滑道和距跑道着陆端的距离信息，按仪表指示引导航空器进近着陆的系统。

2.0.4 眩光效应 glare effect

由于视野中的亮度分布不适宜，或存在极端的对比，以致引起不舒适感觉或降低观察能力的视觉现象。本指南定义眩光效应根据其对眼睛视物影响程度大小分为视觉残像、视网膜损伤。

2.0.5 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。

2.0.6 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。

2.0.7 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。

2.0.8 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。

2.0.9 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。

2.0.10 典型气象年 typical meteorological year

能够反映太阳能发电工程所在地典型太阳能资源状况，由 12 个具有气候代表性的标准月组成。

2.0.11 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。

2.0.12 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。

2.0.13 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。

2.0.14 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。

2.0.15 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。

2.0.16 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。

2.0.17 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。

2.0.18 外来物 Foreign Object Debris (FOD)

活动区内无运行或航空功能并可能对航空器运行构成危险的无生命物体。

3 规划与选址

3.1 一般规定

3.1.1 机场光伏项目规划应坚持安全第一，绿色环保的基本原则。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。

3.1.2 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、经济收益等全面考虑，同时对光伏项目配套设施统筹规划。

3.1.3 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。

3.1.4 满足建设要求的机场现有建筑物屋顶，宜同步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。

3.1.5 机场范围内面临拆迁、废弃或鉴定为危房的现有建筑屋顶不应安装光伏设施。

3.2 总体规划

3.2.1 在总体规划中，机场需根据资源条件、电力需求预测、机场减排要求切实制定光伏项目建设总体目标以及分期目标。

3.2.2 在总体规划设计方案中，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。

3.2.3 总体规划应就光伏支架的结构强度及耐久性做出评估，并对施工建设提出合理建议。

3.2.4 总体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。

3.3 选址

3.3.1 机场光伏设施可建于机场飞行区、航站区、公共区等具有机场管理机构明确权属关系的土地、水面或建筑屋顶。应优先选择未利用荒地、水面、建筑物屋面，尽量节约用地，减少土石方开挖量，做好植被保护。

3.3.2 地面光伏设施场址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，且应避开周边障碍物对光伏组件的遮挡。

3.3.3 飞行区光伏设施选址应符合《民用机场飞行区技术标准》对机场飞行区设施设备安装的要求。

3.3.4 光伏设施选址不应对机场空域、机场通信、导航、监视等产生不利影响，不应对机场塔台工作人员及飞行员产生眩光效应。

3.3.5 光伏设施应符合《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》《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。

3.3.6 光伏设施应满足《民用机场飞行区技术标准》、《运输机场净空保护管理办法》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净空障碍物限制面。

3.3.7 机场光伏及其配套设施应根据总体规划、电网结构、电力负荷、场内道路交通、环境保护要求，地形、水文、气象、占地拆迁、施工影响等条件，拟订初步方案，划设初步范围。在对上诉因素进行考察和研究的基础上，通过图上作业、现场踏勘，确定初选场址。

3.3.8 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、眩光等方面进行综合分析，将明显影响运行安全、电力安全、建筑物承重的初选场址排除，具体应包含以下内容：

- 1 场址与机场近、远期规划的相符性；

- 2 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；

- 3 光伏项目对机场用电安全的影响；
- 4 航站楼、货站等建筑物屋顶光伏项目对建筑物承重的影响；
- 5 光伏项目对生态环境的影响，水面光伏项目是否对周边水系的生态产生影响；
- 6 光伏项目的施工难易度以及经济性等。

3.3.9 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。

4.太阳能资源量评估

4.1 一般规定

4.1.1 太阳能资源评估应根据机场工程建设运行的需要，分析机场所在区域太阳能资源特征及变化规律。

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

4.2 数据采集及相关要求

4.2.1 太阳辐射现场观测站的设备及安装要求应符合国家现行标准《太阳能资源测量总辐射》GB/T 31156、《太阳能资源测量直接辐射》GB/T 33698、《太阳能资源测量散射辐射》GB/T33699、《地面气象观测规范辐射》GB/T 35231 的有关规定。

4.2.2 机场光伏设施太阳能资源评估的基础数据应包括水平面总辐射、水平面直接辐射、散射辐射、温度、风速、风向数据和灾害性天气情况。

4.2.3 太阳辐射现场观测站实测数据宜为连续观测记录，其时间序列不宜少于一个完整年。

4.2.4 代表气象站长期数据和基于卫星遥感资料的统计计算数据或物理反演数据，其时间序列至少应为近 10 年连续的完整年逐月数据。

4.2.5 代表气象站的多年月平均气温、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日数、雷暴日数、冰雹日数、扬沙日数、浮尘日数、沙尘暴日数、强风日数等气象要素至少应为近 10 年统计数据。

4.3 太阳能资源分析

4.3.1 典型气象年构建及数据分析应包含下列内容

1 应以收集到的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。

2 太阳能资源数据分析中，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 10 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年标准月。

3 太阳能资源数据分析时，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和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。

4 应对水平面总辐射、散射辐射的年内变化、典型日内变化和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。

4.3.2 气象条件分析应包含大风、雷暴、冰雹、暴雨等恶劣天气对光伏项目建设及运行安全的影响。除此之外还应分析温度、沙尘、积雪、酸雨对发电效率的影响。

4.4 太阳能辐射量计算

4.4.1 机场太阳能总辐射量分为日总辐射量和月总辐射量

1 日总辐射量由下式计算

$$Q_n = \frac{T I_0}{\pi \rho^2} (\omega_0 \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega) \quad (4.4-1)$$

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 ——日照时间

2 月总辐射量分为两种情况，除了有太阳能辐射观测点的地点（日射站）外，

对无太阳能辐射观测点的地点，一般利用最小二乘法求月太阳辐射量。

4.4.2 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。

$$H_t = H_{bt}(\theta) + H_{dt}(\theta) + H_{rt}(\theta) \quad (4.4-2)$$

$$H_{bt} = H_b R_b \quad (4.4-3)$$

$$H_{dt} = H_d \times \left[\frac{H_b}{H_0} \times R_b + 0.5 \times \left(1 - \frac{H_b}{H_0} \right) (1 + \cos\theta) \right] \quad (4.4-4)$$

$$H_{rt} = 0.45\rho H(1 - \cos\theta) \quad (4.4-5)$$

$$R_b = \frac{\cos(\phi-\theta)\cos\delta\sin h'_\theta + \left(\frac{\pi}{180}\right)h'_\theta\sin(\phi-\theta)\sin\delta}{\cos\phi\cos\delta\sin h_s + \left(\frac{\pi}{180}\right)h_s\sin\phi\sin\delta} \quad (4.4-6)$$

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。

4.4.3 光伏阵列太阳总辐射量

1 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、散射辐射量以及地面反射辐射量之和。

2 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。

3 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。

4.4.4 太阳能资源评估结论应包含下列内容

1 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，并评估太阳能资源的丰富程度。

2 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照量，然后求最小值与最大值之比，作为太阳能资源稳定度。

3 机场光伏项目应采用典型气象年数据计算年水平面直接辐照量和年水平面总辐照量之比。

5.光伏发电

5.1 一般规定

5.1.1 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。

5.1.2 机场光伏项目的安装容量应根据机场所在地区的日照条件，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。

5.1.3 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，一般来说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。

5.2 主要设备选型

5.2.1 光伏组件可分为晶体硅光伏组件、薄膜光伏组件和聚光光伏组件三种类型。

5.2.2 光伏组件可按下列技术条件：峰值功率、转换效率、温度系数、组件尺寸和重量、功率辐照度特性等进行选择。

5.2.3 光伏组件应按太阳光谱辐照度、光谱响应、光伏组件工作温度使用环境条件校验。

5.2.4 光伏组件的类型可按下列条件选择：

- 1 按太阳辐照度、气候特征、场地面积等因素，需要经过技术经济比较确定。
- 2 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。
- 3 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。
- 4 用于并网光伏发电系统的逆变器性能应符合《光伏电站接入电力系统技术规定（GB/Z 19964）》的规定，并具有有功功率和无功功率连续可调功能。

5 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、防护等级等。

6 逆变器应按：环境温度、相对湿度、海拔高度、地震烈度、污秽等使用环境条件校验。

5.3 光伏方阵布置及要求

5.3.1 机场光伏设施布置应根据机场地形、设备特点和施工条件等因素，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，充分利用飞行区大量无遮挡的空地，保证机场运行安全。

5.3.2 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。

5.3.3 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。

5.3.4 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、积雪等气候条件及建筑朝向、屋顶结构等因素，经技术经济性比较后确定方位角、倾角和阵列行距。

5.3.5 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。逆变升压室宜根据工艺要求布置在光伏方阵单元模块的中部，且靠近主要通道处。

5.3.6 直埋敷设的电缆不得平行敷设于地下管道的正上方或正下方，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 规定。

5.4 跟踪系统

5.4.1 跟踪系统可分为单轴跟踪系统和双轴跟踪系统。

5.4.2 跟踪系统的控制方式可分为主动控制方式、被动控制方式和复合控制方式。

5.4.3 跟踪系统的设计符合下列要求：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，宜有通讯端口。

5.4.4 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；宜具备在紧急状态下通过远程控制将跟踪系统的角度快速调整至在受风最小位置的功能。

5.5 发电量计算

5.5.1 光伏设施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

5.5.2 上网电量 E_p 应按照本指南公式 5.6-1 计算：

$$E_p = H_t \times S \times K_1 \times K_2 \quad (5.6-1)$$

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。

6 接入系统

6.1 一般规定

6.1.1 接入方案应根据机场光伏项目接入电压等级、并网点和上网类型划分接入系统方案，接入电压等级和位置可按照本指南附录 B 确定。

6.1.2 接入的机场光伏应在考虑各相负荷分布的情况下，确定接入电压等级及接入方式，确保供电安全。

6.1.3 功率控制和电压调节

1 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，必要时可根据电网系统部指令调节电源的有功功率输出,并根据供电部门的批复要求进行配置，预留 AVC/AGV 的接口 2 机场光伏项目功率因数应在 0.95(超前)~0.95(滞后) 范围内连续可调；机场光伏项目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。

6.1.4 机场光伏启停应符合下列要求：

1 系统启动时需考虑当前电网频率、电压偏差状态，当电网频率、电压偏差超出标准规定的正常运行范围时，光伏发电系统不应启动。

2 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不允许重新并网。

6.1.5 机场光伏设施运行适应性应满足下列要求：

1 电压范围

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。当并网点考核电压在电压轮廓线及以上的区域，应不脱网连续运行，否则，允许光伏切出。

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，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。

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

3 机场所需的光伏逆变器应满足相关工程规范的频率运行要求。

6.1.6 机场光伏项目电能质量应满足下列要求：

1 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。

2 机场光伏设施所接入公共连接点的谐波注入电流应满足《电能质量 公用电网谐波》（GB/T14549）的要求，其中光伏并网点向电网注入的谐波电流允许值按照光伏发电系统安装容量与公共连接点上具有谐波源的发/供电设备总容量之比进行分配。

3 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《电能质量 供电电压偏差》（GB/T12325）的要求，所接入公共连接点的电压波动和闪变值应满足《电能质量 电压波动和闪变》（GB/T1232）的要求，所接入公共连接点的电压不平衡度应满足《电能质量 三相电压不平衡》（GB/T15543）的要求，向公共连接点注入的直流电流分量不应超过其交流额定值的 0.5%。

6.1.7 潮流计算

以 10kV 和 10kV 以下 电压等级并网的机场光伏接入系统方案，应考虑潮流计算内容。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。

6.1.8 短路电流计算

1 以 10kV 和 10kV 以下电压等级并网的机场光伏接入系统方案，应考虑短路电流计算内容。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。

2 电气设备选型应满足短路电流计算的要求。机场光伏短路电流可按 1.5 倍额定电流选择。

6.2 电气一次专业

6.2.1 主要设计内容应综合考虑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；提出对有关电气接线、电气设备选型的要求。

6.2.2 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。

1 不同接入电压下主接线的选材，机场光伏系统的接地方式应与配电网侧的接地方式相协调，并应满足机场设备及飞行安全要求。

2 机场光伏送出线路导线截面选择需根据送出容量、并网电压等级选取，并考虑光伏发电效率等因素。

3 设备开断能力应根据并网点短路电流水平选择，并需留有一定裕度。新建机场光伏接入工程开断设备应配置断路器；对于存量光伏，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。

4 10kV 电压等级接入的机场光伏项目，升压变压器容量宜按照相关规范要求的配电变压器容量序列选择。

5 电流互感器须按三相选择，变比不应按负荷选择，应按满足系统短路电流确定，电流准确等级以当地电力部门和机场需求为准

6 通过 10kV 及以下电压等级并网的机场光伏，连接电源和电网的专用开关柜应有醒目标识。标识应标明“警告”、“双电源”等提示性文字和符号。标识的形状、颜色、尺寸和高度应按照《安全标志及其使用导则》（GB2894）规定执行。

6.3 电气二次专业

6.3.1 内容及深度应符合下列要求

1 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。

2 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。

6.3.2 技术原则应包含下列内容

1 光伏继电保护及安全自动装置配置应满足可靠性、选择性、灵敏性和速动性的要求，技术条件应满足《继电保护和安全自动装置技术规程》（GB/T14285），《分布式电源并网技术要求》（GB/T33593）等。

2 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，经升压变后直接输出，不配置母线保护。

3 光伏接入配电网后，应对机场光伏送出线路相邻线路现有保护进行校验，当不满足要求时，应调整保护配置；应校验相邻线路的开关和电流互感器是否满足最大短路电流情况要求；应对系统侧变电站或开关站侧的母线保护进行校验，若不能满足要求时，则变电站或开关站侧应配置保护装置，快速切除母线故障。

4 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，防孤岛保护动作时间不大于 2s，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。

6.3.3 系统调度自动化应符合下列要求

1 一般性要求：机场光伏通信运行、调度自动化和并网运行信息采集及传输应满足《电力调度自动化系统运行管理规程》（DL/T516）、《电力系统通信管理规程》（DL/T544）等相关标准要求。

2 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考虑通信方式。优先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。

3 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、无功功率和发电量等。上传远动信息内容应由机场光伏项目设计方提供并由系统部确认。10kV 以下并网项目，暂只采集电能信息，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：机场光伏有功功率控制系统应确保光伏有功功率及有功功率变化按照电网系统部的要求运行。

远动系统方案及信息传输：机场光伏远动信息上传宜采用专网方式可单路配置专网远动通道。

以 10kV 电压等级接入的光伏，本体远动系统功能宜由本体监控系统集成，本体监控系统具备信息远传功能；本体监控系统不具备条件时，应独立配置远方终端，采集相关信息。远动网关装置应配置双电源模块，其他厂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电量信息采集及远传。如无线采集终端装置或集抄系统不具备采集条件，应配置远动终端采集相关信息。

4、光伏监控系统应具备实时监视、全场控制、发电功率预测、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。

5 信息传输

以 10kV 并网的机场光伏项目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、备调的各类主站端需接收电厂远动信息、电能量数据等各类调度数据业务，因此上述调度主站需完成软硬件接口配置、系统联合调试等工作，需为上述调度端统一考虑接口费用。

以 10kV 以下并网的机场光伏项目，有控制要求的宜优先采用光纤通信方式，

无控制要求的机场光伏项目，可采用无线公网通信方式，采用无线公网通信方式的应采取信息安全防护措施。通信方式和信息传输应符合《配电自动化系统应用》（DL/634.5101）等标准的要求。

6.4 通信专业

6.4.1 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、提出通信方案和确定通道组织方案等。设计通信建设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量的要求来确定。

6.4.2 技术原则应包括下列内容

1 机场光伏项目应具备与电网系统部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。通信建设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量的要求来确定

2 对于实现“三遥”功能的节点可选择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优先采用专网通信方式，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。

6.5 计量

6.5.1 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、传输信息及通道要求等。设计应提出对关口点电能量计量装置的计量要求及精度等级要求、电能量计量装置的通讯接口技术要求，确定传送电能量计量信息的内容、通道及通信规约。

6.5.2 技术原则应包含下列内容

1 光伏发电接入电网前，应明确上网电量和用电量计量点。接入用户电网的机场光伏接入公共电网前，应分别设置关口电量计量点和发电量计量点，以实现机场光伏发电上网电量(发电量)和下网电量的分别计量客户自用负荷应设置用

电量计量点。

接入公共电网的机场光伏应设置关口电量计量点，以实现机场光伏发电上网电量(发电量)和下网电量的分别计量。应分别配置专用计量电能表，同时接入计量自动化系统，实现电能量数据远程采集。

2 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、电量冻结等功能，并支持载波、RS485、无线多种通信方式，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 1 套电能计量装置。

10kV 以下接入类用户，关口电量计量点、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、机场光伏并网点（光伏电源汇聚点)分别安装 1 套三相电能计量装置。配置有功 1 级及以上三相智能电能表，经低压电流互感器计量的，应配置 0.2S 级专用低压电流互感器。

下网电量计量点、计量装置接线、配置技术设计原则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。

3 电能量数据采集装置配置要求

每个计量点均应装设电能计量装置，其设备配置和技术要求应符合 DL/T448，以及相关标准、规程要求。

机场光伏相关电能计量点需同步设计计量自动化系统接入方案，实现发电量、上网电量、下网电量以及负荷曲线的自动采集和统计。机场光伏发电投产时，应同步开展电能量远程采集接入工作，计量自动化系统档案通过接口从营销系统获取，实现机场光伏发电用户电子化结算。

机场光伏发电，关口电量计量点、发电量计量点通过配置负荷管理终端、低压集抄设备或电能表 4G 远程通信模块等方式接入计量自动化系统同步实现电能量数据远程采集。采集，执行公司现行管理要求。

7.光伏消纳

7.1 一般规定

- 7.1.1 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。
- 7.1.2 光伏并网的电压等级选择应综合考虑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。
- 7.1.3 光伏并网后电能质量、频率、电压等应满足国家、行业相关规范、标准的要求。
- 7.1.4 光伏不应作为消防应急电源。
- 7.1.5 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。
- 7.1.6 当光伏的发、用容量显著错配时，宜配置储能系统。
- 7.1.7 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。

7.2 消纳方式

- 7.2.1 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。当建筑单体自身无法完全消纳需要远输，功率不超过 400kW 且距离不超过 200 米时宜采用 10kV 以下电压。
- 7.2.2 远离合适消纳点的飞行区地面、屋面、水面等光伏设施宜经升压后采用 10kV 电压远输异地消纳。逆变器、升压变压器等可选择安装于预制箱体内，并应考虑散热措施。
- 7.2.3 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，但二级及以上等级用电负荷不应参与柔性调节，除非根据用电负荷自身工作特性、供电系统架构等因素进行论证、仿真后可证明不会影响其正常的功能保障能力。
- 7.2.4 采用非逆流并网方式时，相近条件下并网接入点应优先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。
- 7.2.5 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。

7.2.6 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。

7.3 储能系统

7.3.1 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。

7.3.2 储能系统功率宜不小于并网点光伏接入容量的 20%，时长宜不小于 2 小时，且总能量不宜超过无储能状态下 24 小时内的市电供给能量，若超配应进行充分论证。

7.3.3 配置储能系统时尚宜根据实际需要适当考虑削峰填谷、电力需求响应、紧急功率支撑等功能。

7.3.4 储能系统原则上应在主要并网点附近集中建设，优先选用 10kV 以下电压并网。

7.3.5 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。

7.3.6 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%。

7.3.7 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。

7.3.8 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。

7.3.9 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。

7.3.10 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。

7.3.11 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。

7.3.12 储能系统应配置电池管理系统。

7.3.13 储能系统安装场所应设置火灾自动报警系统、视频监控系统、自动灭火系统等，并应根据所选电池的特性需要设置可燃气体监视报警系统。

7.3.14 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。

7.3.15 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 2 米，室内温度宜在 10°C~30°C 之间，相对湿度宜不大于 85%。

7.3.16 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》（TCEC175）的相关要求。

7.3.17 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。

7.3.18 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。

7.3.19 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。

8 土建结构

8.1 一般规定

8.1.1 光伏支架结构设计除应满足承载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。

8.1.2 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查评定或检测鉴定。当原结构承载能力不足时，应先加固原结构。

8.1.3 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。

8.1.4 考虑飞行区和航站区安全要求，光伏支架结构安全等级航站区宜取三级，飞行区为二级。

8.1.5 考虑飞行区运行安全，光伏支架应进行抗震设计，一般情况下抗震设防类别应为丙类。

8.1.6 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）

8.1.7 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

8.1.8 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

8.1.9 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。

8.2 结构设计

8.2.1 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。

8.2.2 支架应按承载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。

8.2.3 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，应能承受 90m/s 的风力荷载。

8.2.4 光伏支架风荷载、雪荷载及其他相关荷载按现行国家标准的规定取值。

8.2.5 支架的荷载和荷载效应计算应符合以下规定：

(1) 风荷载、雪荷载和温度荷载应按《建筑结构荷载规范》（GB50009）取 25 年一遇的荷载数值。

(2) 支架的荷载和荷载效应计算应考虑无地震作用效应组合与有地震作用效应组合。

(3) 支架设计应对施工检修荷载进行验算

8.2.6 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

8.2.7 支架基座设计应进行稳定性验算，包括抗滑移验算和抗倾覆验算

8.2.8 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。

8.2.9 光伏支架结构宜按空间结构进行内力分析。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。

8.2.10 光伏支架结构的连接和节点构造做法应与计算假定一致，应保证传力简洁明确、构造合理、安全可靠。

8.2.11 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合理确定。屋面光伏支架基础的布置尚不应影响所在屋面部位的建筑防水和排水效果。

8.3 抗震与防护设计

8.3.1 在抗震设防地区，支架应进行抗震验算。

8.3.2 光伏支架的抗震设计应符合下列规定：

- 1 应具有明确的计算简图和合理的地震作用传递途径；
- 2 应保证连接节点不先于构件破坏；

3 应避免因部分结构或构件破坏面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；

4 应具备良好的变形能力和塑性耗能能力；

5 对可能出现的薄弱部位、应采取措施提高其抗震能力。

8.3.3 光伏支架结构宜按空间杆系结构进行整体分析，也可简化为平面结构进行计算

8.3.4 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

8.3.5 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。

8.3.6 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够保证结构正常使用。

8.3.7 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。

8.3.8 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。

8.3.9 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。

8.4 施工及维护

8.4.1 光伏支架工程施工应实行绿色施工，施工前宜编制绿色施工专项方案，实现节能、节地、节水、节材和环境保护。

8.4.2 光伏支架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。

8.4.3 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。

8.4.4 涉及不停航施工的光伏支架工程，为保证施工期间机场正常运行，应做好不停航施工组织，制定合理的应急预案，在满足施工的同时，减少施工对运营的

影响。

8.4.5 不停航施工除应符合设计要求及相关规定外，尚应符合下列规定：

- 1 施工作业不得对电缆和管线造成损坏；
- 2 施工区域警示灯的颜色、朝向及高度应符合规定要求，基础应稳固牢靠，具备抗风及抗水流等能力；
- 3 采取有效措施控制施工中的飘浮物、灰尘等；堆放的材料、设备和工具应放置稳固，并做好相应的安全防护；应对轻质物料及施工垃圾采取针对性管控措施，防止被风吹起形成 FOD。
- 4 不停航施工作业结束后，应检查并清理飞行区的遗留物和污染物；
- 5 需要开放运行的区域，施工后应及时清理并恢复场地，撤离人员和机械。

8.4.6 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。

8.4.7 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。

9 安全风险评估

9.1 一般规定

9.1.1 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，分析结果分为对机场无安全影响、对机场有安全影响但可通过调整光伏建设方案消除、对机场有安全影响且通过调整光伏建设方案不可消除。

9.1.2 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。

9.1.3 安全风险分析应采用定性、定量及仿真模拟的方法进行，其中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。若光伏设施被其他障碍物遮挡，塔台工作人员及飞行员无法看到，可不进行仿真模拟。

9.2 主要风险因素

9.2.1 光伏及其配套设施对航空器运行、飞行员及塔台工作人员造成影响，主要风险因素包括航空器地面安全运行、净空、电磁环境以及眩光等。

9.2.2 光伏及其配套设施建设、安装、运行及维护等过程对航空器地面安全运行的风险主要考虑以下因素：

- 1 布设位置影响航空器地面运行；
- 2 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。

9.2.3 光伏及其配套设施建设、安装、运行及维护等过程对机场净空的影响主要考虑以下因素：

- 1 位于地面的光伏设施对机场净空的影响；
- 2 位于建筑物屋顶或塔架上的光伏设施对机场净空及障碍物限制面的影响。
- 3 施工期间塔吊等施工设施对机场净空的影响。

9.2.4 光伏及其配套设施对机场电磁环境的风险主要考虑以下因素：

- 1 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。
- 2 光伏及其配套设施对无线电信号传播的遮挡。

9.2.5 光伏及其配套设施产生眩光风险主要考虑以下因素：

- 1 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；
- 2 光伏及其配套设施 1 个自然年对最后进近路径上飞行员产生的眩光；

9.3 安全性分析

9.3.1 安全性分析的流程应该包括准备、实施和总结。

1. 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、光伏及其配套设施安装高度及倾角、光伏板表面材料反射率等。

2. 实施：对可能产生的安全风险进行分析和评估。

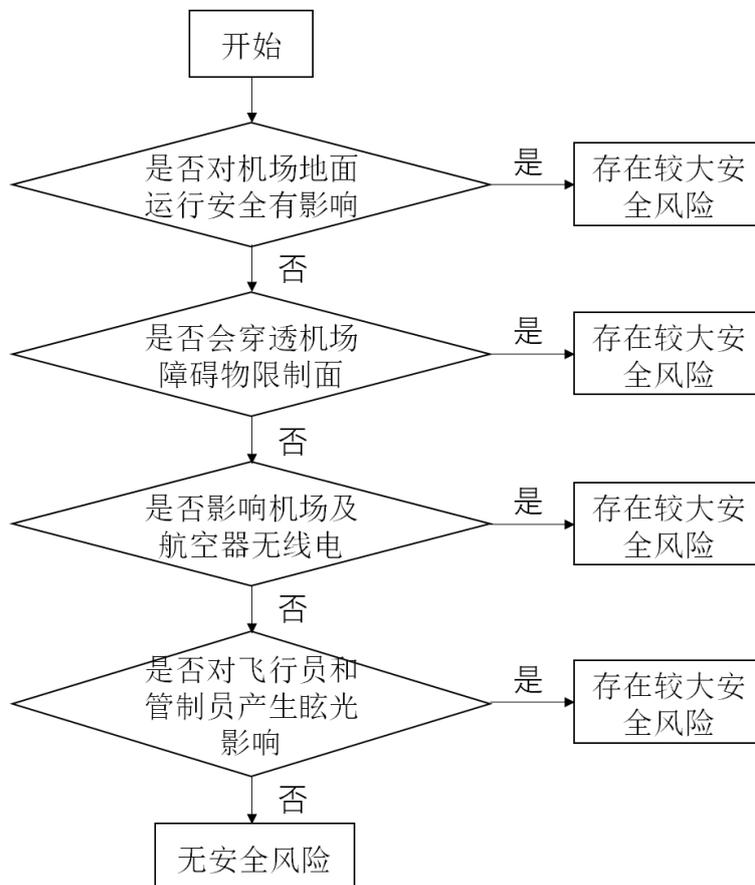


图 9.3.1-1 安全风险分析流程图

3. 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需提出优化或改正的措施，若无法通过优化或调整消除风险，应放弃建设光伏

9.3.2 机场飞行区运行安全风险分析要点

1. 应对机场飞行区升降带、跑道端安全区、净空道、滑行道等位置的光伏项

目进行评估，如无特殊需求不应在此位置安装光伏及其配套设施

2.对于精密进近跑道，无障碍区内如无特殊需求不应安装光伏及其配套设施

9.3.3 机场电磁环境安全风险分析要点

1.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。光伏设施安装不应进入无线电设施保护区且应满足各无线电设备的电磁防护要求。

2.光伏及其配套设施的线缆埋设深度和位置应符合机场通导监设备的电磁环境要求。

3.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。

9.3.4 机场眩光风险标准及分析要点

1.分析要点

1) 机场现有或规划中的塔台管制室和最后进近路径不应存在高眩光风险（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；

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；

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、眩光对眼部的影响程度等。

2. 评估标准

1) 首先，评估光伏板是否产生眩光。其中，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够看到光伏板，但是光伏板产生眩光影响小，对运行安全风险较低，标准参考附录 D。

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,需要进行眩光计算。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(计算方法见附录 C),并根据附录 D 中的视网膜辐照度阈值判断是否产生高眩光风险,对于大于或等于视网膜辐照度阈值的情况,需计算其持续时间。

附录 A 电缆与电缆、管道、道路、构筑物等之间允许最小 距离

| 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 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 | 0.5 ^① |
| | 其他管道 | 0.5 | 0.5 ^① |
| 电缆与铁路 | 非直流电气化铁路路轨 | 3.0 | 1.0 |
| | 直流电气化铁路路轨 | 10.0 | 1.0 |
| 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 | —— |
| 电缆与 1kV 及以下架空线电杆 | | 1.0 ^③ | —— |
| 电缆与 kV 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 0.25mm；

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 视角及光伏板反射光强度计算方法

1. 机场光伏板与飞行员或塔台工作人员形成源角计算的近似公式如下：

$$\omega = \frac{\sqrt{A_s}}{s}$$

式中， ω 为源角，弧度（rad）； A_s 为光伏板布设面积，平方米（m²）； s 为光伏板与飞机驾驶室或塔台控制室的直线距离，米（m）。

- 2 光伏板反射光对视网膜辐照度近似计算公式如下：

$$E_r = E_{DNI} \cdot \cos\theta \cdot \rho \cdot \frac{d_p^2}{4f^2} \cdot \tau$$

式中， E_r 光伏设施对视网膜辐照度，瓦/平方米（w/m²）； E_{DNI} 为太阳法向直接辐射辐照度，瓦/平方米（w/m²）； θ 为光伏板倾斜角； d_p 为瞳孔直径，取 0.002 米（m）； f 为眼球焦距，取 0.017 米（m）； τ 为眼透系数，取 0.5；

附录 D 机场光伏设施眩光风险评估标准

| 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 | 低 |
| | 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 平方米,公共区(非飞机最后进近路线下方)光伏板面积小于 100 平方米 | 低 |
| 有眩光风险 | 光伏板反射光对视网膜辐照度低于阈值($E_{r,flash}$) | 低 |
| | $E_{r,flash} = \frac{3.59 \times 10^{-5}}{\omega^{1.77}}$ <p>$E_{r,flash}$ 为视网膜辐照度阈值,瓦/平方厘米 (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)。</p> | |
| | 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 |