

赋能低空经济发展：

构建安全、弹性、可持续的
空中交通能源底座



施耐德电气（中国）有限公司

摘要

随着低空经济规模化推进，无人机、电动垂直起降飞行器（eVTOL）基础设施建设需求爆发式增长。但多数场站规划聚焦起降调度、空间布局等功能，却忽视了电力作为低空经济的底层能源支撑，未充分考虑飞行器充电、空管系统、数据运维等多场景下，对供电连续性的要求。本文围绕“安全、弹性、可持续”三大核心目标，深入剖析低空起降场站能源基础设施特性，提供可落地的配电挑战应对指南，为低空经济发展筑牢能源支撑。

目录

CONTENTS

简介	02
现状及挑战	04
构建安全的低空经济基础保障设施	05
助力低空飞行基础设施弹性运行	09
环境与合规：助力低空经济绿色可持续发展	12
结论	15
关于作者	16
施耐德电气核心解决方案	17

简介

近年来，低空经济正从政策试点加速迈向规模化运营新阶段，无人机、电动垂直起降飞行器（eVTOL¹）的快速发展，不仅会改变人们的生产生活方式，还将彻底重塑城市立体交通网络的形态。除了传统的工业、农业、服务业、交通物流等领域外，低空经济的应用还将进一步拓展到应急救援、城市管理、公共安全、环保监测等更多行业和领域，这些新应用场景将激发更大的市场潜力。根据中国民航局预测，2035年我国低空经济市场规模有望达到3.5万亿元²。

随着《国家综合立体交通网规划纲要》《通用航空装备创新应用实施方案》等法规密集出台，中央空管委划定“6大eVTOL试点城市+12个区域重点城市”布局³，2025年国家政府工作报告将低空经济纳入战略性新兴产业，以及各地方政府加快试点政策推进，划定合法低空飞行空域，并简化飞行审批流程，为产业快速推进提供制度保障。

在此背景下，2025年7月中国民用机场协会发布《低空经济基础设施框架图》，如图1，勾勒出低空经济基础设施的完整体系：既涵盖了保障飞行器安全飞行的低空空管基础设施，也包含了衔接空中与地面的低空起降基础设施，同时明确了试飞、检验检测等低空产业配套基础设施和载客、物流、公共服务的低空应用场景配套基础设施。



（图1）低空经济基础设施框架图

在这一庞大的基础设施体系中，本文将重点聚焦低空起降基础设施——作为低空交通的“地面枢纽”，低空起降基础设施的起降场站已从单一的飞行器停靠节点，升级为集“起降调度、快速充电、设备监控、应急保障”于一体的综合服务中心。这一转型不仅推动低空经济成为新质生产力的重要增长点，更催生了对场站基础设施的颠覆性需求，其中供电系统作为保障场站稳定运行的“能源心脏”，其重要性愈发凸显。

¹ Electric Vertical Take-off and Landing (eVTOL) 是以纯电动驱动、可垂直起降的航空器

² 数据来源：国家发展和改革委员会发布《【专家观点】低空经济发展前景可期》

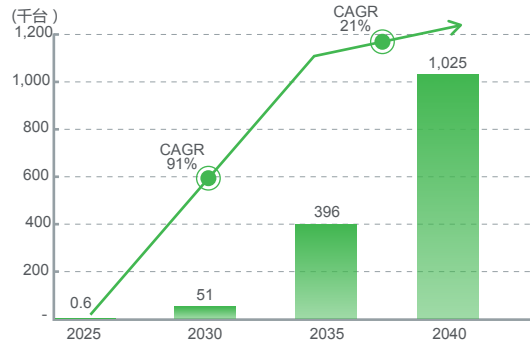
链接 https://www.ndrc.gov.cn/wsdwhfz/202411/t20241129_1394729_ext.html，2024.11.29

³ 6大试点城市：合肥、杭州、深圳、苏州、成都、重庆，12个区域城市：北京、上海、广州、南京、武汉、郑州、济南、大连、珠海、西安、长沙、昆明

从电力需求来看，美国联邦航空管理局 2023 年 12 月发布《垂直起降机场电力基础设施研究》⁴ 起降场可能会考虑规划 1000 kW (=1 MW)⁵ (甚至更高) 的充电容量。深圳市地标《民用建筑新型基础设施设计通则》(SJG178-2024) 规定：民用建筑宜设置中小型低空飞行基础设施，尚应为垂直起降飞行器预留大于 150 kW 充电电源。

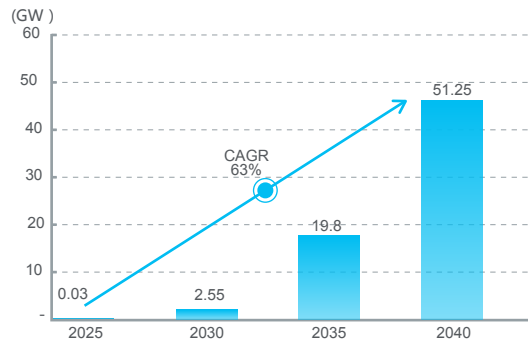
基于当前低空经济发展态势测算，如图 2 (b)，2025 年国内低空起降场总的电力需求 0.03 GW (=30 MW)，主要用于基础照明、监控及初期充电设施；随着 2030 年低空经济规模化运营目标的推进，如图 2 (a)，预计届时全国 eVTOL 市场保有量将达到 51,000 台。2040 年，全国 eVTOL 市场保有量将达到 1,025,000 台，预估起降场电力需求将以 63% 的年复合增长率高速增长，达到 51.25 GW (=51,250 MW)。其中关键趋势在于，电动垂直起降飞行器的快速充电、自动化起降平台、低空通信基站、数据中枢负载等高密度用电负载的占比将持续提升，成为推动电力需求增长的核心动力。

图 2 (a) 中国 eVTOL 市场保有量 (2025 ~ 2040)



数据来源：波士顿咨询，中国载人 eVTOL 行业白皮书 (2025.09) CAGR=年均复合增长率

图 2 (b) 中国 eVTOL 起降电力需求 (2025 ~ 2040)



备注：按每 20 台 eVTOL 共用一个 1 MW 的起降场估算总的电力需求。
(1 GW=1000 MW) 未考虑电网扩容周期、分布式能源渗透率、政策限制等现实约束。

(图 2) 低空起降场电力需求年复合增长率

⁴ <https://docs.nrel.gov/docs/fy24osti/86245.pdf>

⁵ 1000 千瓦 (kW) 等于 1 兆瓦 (MW)，1000 兆瓦 (MW) 等于 1 吉瓦 (GW)

现状及挑战

为更深入了解垂直起降机场基础设施要求，我们调研了 eVTOL 制造商、垂直起降机场经营者、电网公司、地方政府低空经济发展司等利益相关者，以评估其独特运营需求。

调研显示，部分低空场站当前面临多重供电保障短板：既没有冗余的市政电源供应，也缺乏自有能源发电的能力。部分偏远地区场站还受困于电网稳定性不足，且暴雨、台风等极端天气下，断电风险极易触发，直接影响场站正常运转。受访者还曾表示，实际运营中已发生过数次停电事故，且每次故障后需等待上级电网介入排查。这种被动应对模式导致故障排查周期长，无法快速定位供电隐患，不仅影响飞行器起降与充电调度，还会引发运营中断、客户信任流失等隐性成本。

同时，调研发现未来 eVTOL 商业模式依赖高频次飞行，充电时间需接近燃油飞机加油时长，仅 5-15 分钟。目前美国 eVTOL 企业 BETA 研发了地面 Charge Cube 快充桩，并已部署 47 个充电站点。Charge Cube 快充桩支持 350 kW 功率输出，充满电仍需 50 分钟，速度仍然受限。eVTOL 所需要的更高功率意味着需要单独建设专用的电网线路。因此，电池容量 100-300 kWh⁶ 的 eVTOL，峰值充电功率达 300 kW 至 1000 kW，垂直起降机场或需规划 1000 kW 及以上功率充电桩，而飞行器集中起降时段的瞬时快充需求，易对配电线路和变压器造成过载。针对这一负载波动难题，受访者也曾考虑通过微电网⁷ 储能系统进行调节。而起降场站在微电网规划设计、设备部署及与现有供电体系衔接方面缺乏成熟方案，没有形成有效的微电网与充电需求协同的调度方案。

从实际运营过程中来看，调研也反馈各站点普遍存在能源消耗数据采集不完整、能耗波动实时监测不精准的问题，导致温室气体排放量计算结果偏差较大，难以准确衡量减排成效，也为后续制定针对性减排策略带来阻碍。

当前低空起降基础设施面临三大核心挑战：一是断电风险高，传统配电系统难以实时监测多负载用电状态，故障排查周期长、成本高。二是负载波动冲击大，飞行器集中起降时段的瞬时快充需求易导致供电系统过载，需要挖掘现场自有电源的潜力，以缓解电网的供电压力，主要考虑光伏⁸ 和电化学储能系统⁹ 的接入和调控；三是能源消耗数据采集不完整、能耗波动实时监测不精准，导致温室气体排放量计量偏差较大。

针对上述挑战，本文将从以下三章阐述应对指南：



⁶ kWh (千瓦时) 是衡量电池存储电能总量的核心指标，1 kWh 表示电池以 1 千瓦 (1000 瓦) 的功率持续放电 1 小时所能释放的电能总量

⁷ 微电网 (Micro-Grid) 也称微网，是指由分布式电源、储能装置、能量转换装置、负荷、监控和保护装置等组成的小型发电系统

⁸ 需考量光伏产生的有害闪烁和眩光，对飞行安全的影响

⁹ 锂离子电池技术，是目前电化学储能系统中应用广泛，行业主流的技术路线

构建安全的低空经济基础保障设施

低空经济基础设施布局需紧密结合空域管理、土地规划、空间资源、现有电力负荷及场地核心用途，其中运营场景的设备充电需求，是决定基础设施功能与规模的关键因素。当前，低空场站面临的供电冗余不足、稳定性差、故障响应低效等挑战，需围绕“基础设施分级体系的搭建、充电需求与场地特性的匹配、供电连续性的最佳实践优化”三大方向，构建适配低空经济规模化发展的基础配电保障体系，为不同层级、不同功能的低空起降场，提供差异化、高可靠的电力支撑。

基于运营场景的低空起降基础设施三级分级体系

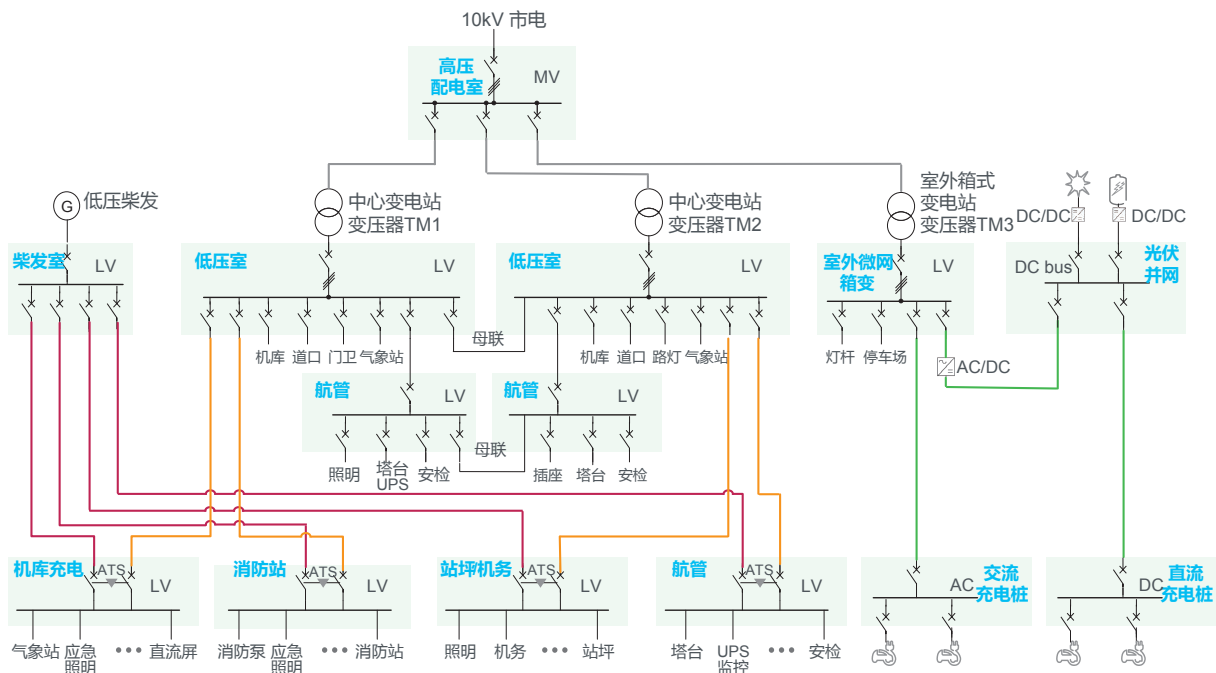
结合低空经济运营场景的核心特征与服务功能定位，低空起降场需构建“一级起降枢纽 - 二级起降基地 - 三级起降站”的三级分级体系，针对不同供电负荷、服务频次及功能需求差异，匹配差异化的配电保障方案。

一级起降枢纽作为区域低空交通核心节点，覆盖枢纽接驳点等高频次、大流量场景，需满足多架次 eVTOL 同时起降、快充需求，日均供电负荷峰值可达 1-2 MW。

供电保障建议：采用“主电网 + 备用电源 + UPS 储能系统”的弹性供电架构，构建三重保障防线。

- 优先接入城市高压电网（10 kV 及以上电压等级），配置双回路供电线路，避免单线路故障导致的整体断电，确保基础供电稳定性。
- 选用 2 台及以上自有发电机组作为备用电源，设置自动启动装置，确保主电网中断时可在短时间内切换供电，保障核心运营不中断。
- 配置 UPS 不间断电源 + 电池组，一方面平抑 eVTOL 集中快充带来的瞬时负载波动，避免对电网造成冲击；另一方面在极端天气或电网故障时，作为应急供电补充，进一步提升供电可靠性。
- 另外，针对局部时段的快充负载冲击，可按需配置局部微电网系统，降低对主电网的依赖。

一级起降枢纽典型配电系统设计参考图 3。



(图 3) 一级起降枢纽典型配电系统设计

二级起降基地主要服务于城市近郊、城市群内短途接驳场景，日均供电负荷峰值约几百千瓦，以中低频次 eVTOL 起降、基础充电需求为主。

供电保障建议：采用“主电网 + 备用电源”的双保障模式

- 主电网接入城市配电网（10 kV 或 380 V 电压等级），降低局部故障对整体运营的干扰。
- 备用电源可选配发电机组或 UPS 储能作为备用电源，确保主电网临时中断时，可快速恢复基础供电与充电功能。
- 另外，针对局部时段的快充负载冲击，可按需配置局部微电网系统，降低对主电网的依赖。

三级起降场以偏远地区、应急救援临时站点、社区短途接驳点为主，日均供电负荷峰值不足 100kW，功能以基础照明、低频次起降。

供电保障建议：优先接入当地配电网（380 V 电压等级）。偏远地区站点结合风光互补微电网系统的可行性，权衡微网投资的必要性。

表 1 总结了低空起降点三级分级体系的供电建议。

分级	核心特征	服务场景	供电建议
一级起降枢纽	独立用地设置，可兼容商业功能。主要服务城市主中心，与主要枢纽接驳。	大型 eVTOL 集群运营、跨城空中交通干线、低空物流区域枢纽、应急救援保障基地等高强度场景。	配置相应电力系统可为无人机充电。双重电源供电，配备自有发电机作为备用电源，对一些对电源中断时间敏感的设备，如通信、导航设备等，应配置 UPS 不间断电源。
二级起降基地	可与城市综合体融合布局。主要服务城市副中心，景区中心等。	短途通勤、城市空中快线（如机场 / 高铁接驳）、低空文旅常态化运营等中等负荷场景。	可为无人机充电。有条件时应采用双电源供电，可选配自有发电机或 UPS 作为备用电源。
三级起降场	主要服务片区中心，景区等。	中小型无人机物流配送、短途低空观光、应急物资临时起降，轻小型无人机巡检等轻量化场景。	单回路供电即可，无需额外配置复杂供电系统。为无人机现场充电的可能性不大，也可引入移动无人机巢 ¹⁰ 。

（表 1）低空起降点三级分级体系

聚焦充电需求与场地特性

低空基础设施配电网场景设计需围绕 eVTOL 与无人机的充电需求展开，无论是新建场站还是改造现有场地，电力容量评估均为核心环节。需结合场站级别与未来 3-5 年的运营规模预测，确定变压器容量需求：一级起降枢纽需预留充足冗余，满足多设备同时快充需求；二级起降基地需根据中短期充电频次增长，预留容量升级空间；三级起降站则以基础用电容量为主，无需额外预留充电电力冗余，避免资源浪费。

同时结合不同级别场站的场地特性，平衡“固定充电”，“移动充电”与“内置充电”的适配性。

固定充电区域：一级起降枢纽与二级起降基地需重点布局固定充电站，根据日均充电频次与设备功率，规划充电桩数量与电力容量，确保满足集中充电需求；新建或改造场站时，需提前评估场地电力容量升级潜力，明确是否需升级现有变压器或新增变压器，避免因电力不足限制充电功能。影响场地成本的一个重要因素是主配电和充电器之间的距离。距离越远，通常需要更多的施工、挖沟等工作才能将电能输送到该位置。在可能的情况下，将充电区域尽量建设在靠近现有变压器的地方，理想情况下使用三相电源¹¹。

¹⁰ 指可移动的无人机停靠与充电装置，无需固定基建，提升无人机充电灵活性

¹¹ 三相电源是由三个频率相同、幅值相等、相位互差 120° 的交流电组成的供电系统，是电力系统中主流的供电方式，广泛应用于工业生产、大型建筑和电力传输等领域

移动充电补充：从低空起降场的三级体系定位来看，三级起降场与一级起降枢纽、二级起降基地的关系类似公交站与公交总站——前者不具备无人机长期驻留与核心服务能力。因此，从功能设计与运营逻辑出发，三级起降场无需在站点长期部署固定充电设施，以降低基础设施初期建设成本，也可据此引入移动无人机巢充电解决方案。

对于地面垂直起降场而言，将电池固定在移动机巢内实现移动充电具备可行性；但屋顶起降场会面临更多挑战，需重点考虑移动充电车辆的高度限制、重量承载要求，以及如何通过合理规划转弯半径确保充电车辆顺利抵达屋顶起降区域。此外，地面移动机巢还可配备连接至屋顶的充电电缆，为屋顶起降场提供更多充电选择，提升充电灵活性。

起降区内置充电：若决定在起降区域范围内设置充电器（例如 BETA 公司 2023 年推出的 Charge Pad 充电平台，集成了电池储能系统与飞行控制系统，且配置在起降平台下方），那其电气配置可能需要与固定充电区域的配置有所不同，需优先适配飞行作业需求。而电池储能系统无论装在哪，都要严格遵守现场储能的相关规范来选位置。

另外，在运营层面，需充分考量场地现有充电业务结构与基础设施布局的协同性——可优先联动场地运营方已有的固定运营基地，或联合有意向参与 eVTOL 市场的企业，复用现有场地资源（如供电接口、场地空间），减少新增基础设施的资本投入，缩短落地周期。例如，广州黄埔区某示范项目通过整合智慧交通综合运营中心资源，联合多家无人机制造商构建“起降 + 充电”一体化服务模板，同步在区域内布局 26 个低空飞行器起降点与 20 个无人机自动值守点，并联动指挥调度管理平台，实现充电需求与场地运营、调度系统的协同。

起降场供电连续性的最佳实践

低空起降场站基础设施涵盖起飞区、充电机库和航管中控终端三大核心区域，如图 4，包括 (A) 起飞区、(B) 充电机库和 (C) 航管中控终端¹²。各区域负荷特性与重要性差异显著。若采用统一供电模式，易出现“核心负荷断电风险高、普通负荷过度投入”的矛盾。



(图 4) 低空起降场站布局，包括(A)起飞区、(B)充电机库和(C)航管中控终端

¹² <https://docs.nrel.gov/docs/fy24osti/86245.pdf>

- 航管中控终端的飞行调度系统、空管通信设备、监控大屏等，直接关联飞行安全与运营连续性，需零中断供电保障；建议采用“市电 + 油机”双电源供电，通过双电源自动转换开关（ATS¹³）保障精密设备可靠运行；同时将关键负载连接到 UPS 电池系统（N，N + 1 或 2N 配电系统¹⁴），还可以通过 UPS 旁路功能防止过载或 UPS 故障时关键负载宕机。在许多情况下，新技术还可简化运行，占用空间更小，增强其功能。根据施耐德电气评估，例如与传统的阀控式铅酸蓄电池相比，使用锂离子电池的 UPS 就是一种优秀的技术进步。锂离子电池的预期寿命更长，维护更少，占用空间减少 50 - 80%，重量减轻 3 倍。
- 充电机库的快充系统、起飞区的助航灯光等，支撑场站核心业务开展，除高可靠性供电外，还要确保“电源 + 负载”全链路状态可视，异常情况自动报警，替代人工巡检。在开关设备加装通讯模块，可实现分合闸状态、老化信息接入监控平台；测温监测低压母线、电缆接头部署在线测温模块，可实时预警过热故障；将电力监控、能耗管理、电气火灾、防雷监测、楼宇自控、智能照明等系统整合至 EEO 电力综合运营管理平台，实现数据共享。
- 而公共区域照明等设备供电，仅提供辅助功能，对供电冗余要求较低。具体照明设计指南可参考美国联邦航空管理局《工程简报第 105A 号：垂直起降机场设计》¹⁵。

另外，低空基础设施面临多类安全风险：雷击、电气火灾、消防设备供电中断等。部署智能防雷监测系统，实时监控电涌保护器 SPD¹⁶ 状态，预防雷击损坏；机库区域部署电气火灾监控系统，监测线路漏电与温度；航管楼额外加装消防设备电源监控，确保应急时设备供电可靠；安全监控数据接入统一平台，如电气火灾报警触发时，联动应急照明启动，同时推送告警信息至运维人员，缩短响应时间。

低空起降场站配电系统的可靠性与智能化，是支撑低空经济规模化运营的关键基础设施。本章通过介绍“分级保障、典型场景管控、最佳实践应用”的核心内容，有效解决负荷差异化需求、运维效率低、安全风险多等核心问题，为低空起降场站提供“安全、可靠、经济、智能”的配电解决方案。



¹³ 自动转换开关（ATS, Automatic Transfer Switch），用于电力自动切换的装置

¹⁴ 针对关键负载的冗余配电架构：N为基础供电回路，N + 1 为“基础回路+ 1 路备用”，2N 为“双回路完全冗余”

¹⁵ https://www.faa.gov/airports/engineering/engineering_briefs/eb_105a_vertports

¹⁶ 电涌保护器（SPD, Surge Protective Device）：安装在电力、信号等线路中的防护设备，用于保护下游的电器、电子设备免受电涌损害

助力低空飞行基础设施弹性运行

在设备承载层面，站点级变压器与线路的过载风险最为突出。通常线路与变压器的设计标准仅能承受 20% 的短期过载，且持续时间仅为几分钟至几小时；而 eVTOL 充电带来的“超限额、高频次”过载，会加速设备老化，长期运行可能引发变压器烧毁、线路熔断等严重故障。此外，eVTOL 充电负荷具有“峰时集中”特性，会推高场站月度峰值需求，进而触发更高等级的需求电价计费标准，导致运营成本因需求电价上涨而攀升。

部署以下技术，在减轻电网负面影响（例如电压超限、变压器 / 配电线路过载）方面具有潜在有效性：



升级基础设施

变压器与线路是基础设施升级的主要对象。对于高成本线路升级（如长距离、大电流线路），需谨慎规划，盲目投入会显著推高总造价。因此，建议选取具备高耐冲击性与低损耗特性的变压器，其优化的绝缘结构与散热设计，可有效延缓设备升级改造周期。

在升级前，需通过时序潮流模拟¹⁷ 预判效果。施耐德电气的 EcoStruxure™ Microgrid Advisor (EMA 能源顾问平台) 可整合场站负荷数据与设备参数，模拟不同升级方案下的电压、电流变化，为“按需升级”提供精准数据支撑，避免盲目投入。

部分场景中，仅升级变压器与线路后可能出现电压恶化问题。针对这类潜在风险，需配套增设带载调压分接开关¹⁸、调整电压调节器等辅助措施。例如，用于治理电压暂降、暂升与波动的动态电压补偿柜 (DVR¹⁹)，可提供高稳定性的电压输出，保障电网电压处于安全范围。



¹⁷ 时序潮流模拟: 用于预判场站电力设施升级效果的技术，通过模拟不同时刻的电力运行状态，分析功率流动、电压水平、设备负载等关键指标随时间的动态变化，为电力设施规划、运行优化和稳定性评估提供依据

¹⁸ 带载调压分接开关: 变压器上的部件，可在带负载时不停电调节输出电压，保证用户端电压稳定

¹⁹ DVR: Dynamic Voltage Restorer

¹⁶ 电涌保护器 (SPD, Surge Protective Device): 安装在电力、信号等线路中的防护设备，用于保护下游的电器、电子设备免受电涌损害。

应用分布式能源

分布式能源的核心价值在于“削峰填谷、电压调节”，其中“短续航、高功率”储能是缓解 eVTOL 充电冲击的关键，搭配光伏应用可进一步优化经济性。

从技术效果来看，储能系统能直接平抑 eVTOL 充电产生的负荷尖峰：一方面使电网电压恢复至 0.95-1.05 标幺值的安全范围，另一方面也能显著缓解变压器过载问题；光伏系统则承担“成本优化器”的角色，但需结合场站屋顶面积与当地电价特性灵活配置。当光伏与储能协同运行时，光伏可在白天为储能充电，减少储能从电网购电的成本；不过，若屋顶面积受限导致光伏规模缩减，储能将更多依赖电网供电，成本节约效果会显著减弱。



提升电网韧性

提升电网韧性的核心是增强“应对突发断电的持续供电能力”，需根据场站是否配备自备电源进行差异化设计。对已具备自备发电机的场站，自备电源与储能的组合可实现“双重保障”——根据施耐德电气评估，在 4 小时断电场景下，电网可用性接近 100%，高于无自备电源的场站。

对于无自备电源的场站，需通过优化储能与光伏规模平衡韧性与成本：在优化配置下，两者虽能满足基本充电需求，但面对 1 小时以上断电时，电网可用性仍较低；若盲目扩大储能规模，又会推高投资成本。因此，这类场站需结合运营需求（如是否承担应急运输任务）明确韧性目标，避免“过度设计”或“韧性不足”。

施耐德电气 EcoStruxure™ 微网控制器可实现“自备电源 + 储能”的协同控制：当电网突发断电时，该控制器能在毫秒级内切换至微网模式，优先调度储能满足 eVTOL 即时充电需求，同时启动自备发电机为储能补能，形成“双重保障”。此外，控制器还可实时监测储能、光伏出力与 eVTOL 充电需求，结合历史数据预测断电风险，既避免因储能不足导致断电时无法支撑充电，防止盲目扩大规模推高投资成本。



环境与合规：助力低空经济绿色可持续发展

低空经济基础设施的环境友好性与运营合规性，已成为行业可持续发展的核心议题。从通用机场、eVTOL 起降点到配套能源补给网络，其全生命周期的碳足迹、能源利用效率及安全合规水平，直接影响低空经济与生态环境的协同发展。本章围绕“绿色产品应用”“数字化运维”“可持续发展指标的量化”不同维度，系统阐述如何通过技术创新与管理优化，推动低空经济基础设施实现环境友好、运营高效且风险可控的发展目标。

绿色产品应用

逐步淘汰 SF6 ——根据相关科学研究，六氟化硫（SF6）作为一种强效温室气体，其全球变暖潜能值（GWP²⁰）是二氧化碳的 23,500 倍，中压开关设备（如断路器、GIS 设备）中广泛用作绝缘气体。根据公开信息，中国国家电网等企业已明确要求采购不含 SF6 的设备比例，为低空场站的设备选型提供了政策导向。

图 5 所示为利用空气取代 SF6 温室气体的开关设备。



（图 5）中压开关设备采用空气取代 SF6，以符合未来法规监管。（所示为施耐德电气 SM AirSeT）

从**人为危害防控**来看，低空场站的电力设备（如变压器、断路器、充电柜）在维护时，若操作不当可能引发触电、电弧闪光，严重时甚至导致火灾或爆炸——这类事故不仅造成设备报废，还需投入额外资源进行抢修与更换，增加碳排放。而通过部署智能传感，如图 6（b）断路器柜内铜排上安装的无线通信热传感器，与 EEO 电力综合运营管理平台联动，可实现设备维护的“预判化”与“远程化”：运维人员无需频繁现场操作，只需通过 EEO 电力综合运营管理平台实时监测设备状态，当检测到异常（如接头过热、绝缘老化）时，系统自动报警并生成维修方案，既减少人为操作风险，又避免因突发故障导致的长时间停机。

²⁰ Global Warming Potential, 用于衡量不同温室气体在特定时间内，导致全球变暖能力的指标。以二氧化碳的 GWP 值为 1 作为基准，其他气体的 GWP 值代表其相对于二氧化碳的变暖倍数



图 6 (a)

图 6 (a) 低压空气断路器内部灭弧罩电气磨损



图 6 (b)

图 6 (b) 断路器柜内铜排上安装的无线通信热传感器

数字化运维：平衡供需效率与环境影响

在**环境适应性设计**方面，极端气候会直接影响设备运行效率与寿命，间接增加碳排放。例如，严寒天气会降低 eVTOL 电池的充放电效率，导致充电时间延长；高温环境则可能引发电力设备过载保护，增加停机频次。建议为充电柜、电池存储区配备恒温控制系统（如采用变频空调与保温材料，降低能耗）；还可利用施耐德电气 EcoStruxure™ Energy Operation (EEO 电力综合运营管理平台) 整合环境数据（温度、湿度）与设备运行数据，动态调整设备参数（如低温时适当提高充电电压补偿效率，高温时降低设备负载阈值），确保设备在极端环境下仍能高效运行。

配电数字化是实现主动能源管理与高效设施运营的核心。通过部署智能仪表、无线测温传感器等设备升级配电系统，并接入 EEO 电力综合运营管理平台，可构建覆盖低空设施的能源管控网络。EEO 电力综合运营管理平台能实时分析起降点充电负荷、空管设备供电等配电数据，自动完成能耗统计、故障排查等手动流程，助力运维人员快速定位问题（如充电桩电压异常）、减少供电宕机，保障 eVTOL 起降与充电安全，同时优化能源使用实现节能。

充电网络优化——结合 eVTOL 的充电特性（高功率、短时间）优化充电设备参数。同时，将充电柜与储能系统联动，在电网电价低谷时段（如夜间）为储能充电，高峰时段通过储能为 eVTOL 供电，降低对电网高峰电力的依赖（电网高峰电力多来自化石能源发电，碳排放更高）。此外，借鉴电动汽车充电系统的成熟经验，推广“车网互动 (V2G²¹)”技术——当 eVTOL 闲置时，其电池可作为临时储能向电网反馈电能，进一步提升能源利用效率，减少整体碳排放。

在网络安全层面，一方面，严格筛选设备供应商，确保设备硬件与软件符合网络安全标准（如具备加密传输、漏洞修复能力）；另一方面，对网络的访问权限进行分级管理（如运维人员、调度中心、eVTOL 运营商分别授予不同权限），避免未授权操作，同时定期开展网络安全演练，防范恶意攻击。同时，强化“自主可控、场景适配”的网络安全底层支撑，构建全链条技术自主的供应链安全保障体系。

低空经济基础设施的运维过程中，人为操作风险（如电力设备维护不当）与环境极端条件（如严寒、高温），不仅可能引发安全事故，还会因设备损坏、停机维修导致额外的能源消耗与碳排放。通过智能防护技术减少此类风险，是低碳运维的重要环节。

²¹ Vehicle - to - Grid (V2G)，电动汽车的双向能源互动技术。在车辆闲置时将电池中储存的电能反向送回电网，以平衡电网负荷、支持可再生能源消纳等；在车辆需要充电时，电网再向车辆供电，实现“车网互动”

能源与可持续指标的量化

低空经济基础设施的可持续发展指标需聚焦“全生命周期环境影响”，覆盖从建设到运营的关键环节，避免指标泛化。结合行业特性，建议优先考量以下核心指标，确保数据可采集、可对比、可优化。

能源消耗率——重点统计 eVTOL 充电配套能源的消耗量（如每架次充电耗电量）、场站公共设施（空管通信设备、照明、恒温系统）的能耗占比，以及清洁能源（光伏、风能）在总能耗中的占比。

温室气体（GHG）排放——涵盖“建设阶段”与“运营阶段”全生命周期统计，可识别碳排放“高值环节”，针对性制定减排措施。

水资源利用率——针对起降点的跑道清洗、设备冷却等用水需求，统计再生水（如雨水回收、污水处理回用）的利用比例，提高循环利用率可减少对市政供水的依赖。

废弃物——包括建设阶段的建筑垃圾（如钢筋、水泥块）回收率，以及运营阶段的设备报废零部件回收率——尤其对于 eVTOL 电池这类含有有害物质的废弃物，如电池材料再生利用。

土地和生物多样性——评估场站选址对周边土地利用与生物多样性的影响，使无人机制造商、起降场站和周边社区更好地参与这口新兴行业。低空基础设施的选址若缺乏生态考量，可能破坏局部生态平衡，因此该指标是衡量“环境友好性”的前置条件。

噪声影响——低空经济基础设施建设与运营全周期的噪声污染管控，重点统计“场站自身噪声”与“飞行器起降噪声”两大核心场景数据，确保指标可量化、可溯源。尤其关注夜间运维时段的噪声叠加影响，避免高频次噪声对周边居民区、生态敏感区（如鸟类栖息地）造成干扰。

这类指标的广泛应用，既能清晰呈现低空经济基础设施的环境可持续绩效，也能推动行业在绿色建设标准上形成共识，助力低空经济与生态环境协同发展。



结论

本文围绕低空起降基础设施“**安全、弹性、可持续**”三大目标，重点探讨了低空起降场供电连续性面临的核心挑战。针对上述挑战，本白皮书从三大维度提供可落地的应对指南：在供配电安全层面，明确了低空起降基础设施三级分级体系供电建议，其中一级起降枢纽推荐“主电网 + 备用电源 + UPS 储能系统”的供电架构；在弹性运行层面，提出电网升级的策略，以及偏远场站的微电网解决方案，介绍了基于数字化平台的弹性调控方案。在构建可持续方面，提供了低空经济基础设施的环境友好性与运营合规性的相关建议。

未来建议建立低空能源设施国家标准体系，涵盖配电安全等级、新能源与储能微电网冗余配置及数据接入标准，推动将低空起降场能耗监测纳入智慧能源监管体系。随着行业标准的完善与技术创新，低空经济有望成为“**绿色交通**”的重要组成部分，实现“**经济效益**”与“**环境效益**”的协同增长。



注：本白皮书内容仅供参考，旨在分享观点与建议，不构成法律、技术或商业承诺。请结合实际情况审慎使用，必要时咨询相关专业人士。

关于作者

施耐德电气



张双华

施耐德电气能源管理低压业务
行业应用经理

同时兼任施耐德电气“Electrifier”专家，在电气工程和标准方面积累了丰富的经验。她于 2011 年加入施耐德电气，目前负责行业应用研究与创新工作。张双华拥有北京科技大学工商管理硕士学位和电气工程及其自动化学士学位。她还是 Uptime Institute 的认证级别设计师（ATD），也是注册一级建造师和电力网工程师。



张旭光

施耐德电气全国销售部交通行业
业务发展经理

他于 2012 年加入施耐德电气，深耕交通行业多年，凭借专业知识与实践经验，推动交通行业应用落地及业务转型，助力施耐德品牌价值影响力提升。他毕业于合肥工业大学电气与自动化工程学院，主修自动化专业。

行业专家



陈艳彦

中国民航管理干部学院教授

国际民航组织秘书处技术官员、低空民航“十五五”发展规划组成员。



肖宾

北京京航安机场工程有限公司
总经理

西安交大管理学硕士，法国国立民航大学高级航空运输管理硕士，机场运行与管理高级工程师，历任京航安国际业务总监、副总经理，在民航领域具有丰富的行业经验。



王刚

华信咨询设计研究院有限公司
低空经济专班基础设施负责人

浙江省科技厅专家库成员，高级工程师，一级建造师，致力于算力中心、低空起降场、通信基站等的设计工作。

施耐德电气核心解决方案

《中压配电产品》

						
PIX 12/24kV 空气绝缘 开关柜	MVnex 12/24kV 空气绝缘 开关柜	PremSet 12kV 屏蔽式 固体绝缘开关柜	GM AirSeT 12kV 环保气体 绝缘开关柜	RM6 12/24kV 气体绝缘环网柜	RM AirSeT 12kV环保气体 绝缘环网柜	
						
Trihal 干式变压器	EvoPact HVX 中压智能 真空断路器	PowerLogic P5 系列 数字化继电 保护装置	PowerLogic P3 系列 数字化继电 保护装置	PowerLogic P1 系列 数字化继电 保护装置	PowerLogic 系列 弧光保护装置	Easergy T300 配网自动化 智能终端

《低压配电产品》

							
Okken 低压成套设备	BlokSeT 低压成套设备	PrismaSeT 低压成套 分配设备	Prisma E 低压成套 分配设备	I-Line 高电流母线槽 400~6300A	Canalis KB 照明母线槽 25~40A		
							
MasterPact MT 空气断路器 630~6300A	MasterPact MTZ 空气断路器 630~6300A	Mic B/BP Mic A/E/EP 全新控制单元 Mic x	ComPact NSX 塑壳断路器 100~630A	EPS Hub 以太网网关	Thermal Tag 无线温度 传感器	PowerTag NSX 无线测量 模块	ComPact NSX DCM 通讯模块

《终端配电产品》

		
低压 终端 配电箱	Acti9 工业 防水 插头插座	Acti9 系列 终端配电 产品
		
开关 和插座	照明控制 元件	终端配电 智能化系列

《自动转换开关电器》

	
ATMT RC 低压电源转换开关	WATSN CB/PC级ATS
	
WTS 高性能 自动转换开关	WOTPC 旗舰 自动转换开关

《电涌保护器类产品》

		
Acti9 系列 电涌保护器	iSCB系列 SPD专用 保护装置	SEMC-i 臻薄系列 电涌保护器
		
iPEC 专用保护一体式 电涌保护器	Smart SPD 智能型电涌保护器	

《电气火灾监控类产品》


WEFP/WEFD 电气火灾监控系统

WPFP 消防设备电源监控系统

《预装式变电站》


E-House 预装式变电站






<< 电能质量监测与治理 >>

 ION9000 电能质量测量仪表	 PM8000A 电能质量测量仪表	 PM5000 多功能测量仪表	 PM4000 多功能测量仪表	 EM2000/iEM3000 导轨表	 Smart PFC 数字化静态/动态补偿成套设备	 EasyLogic™ PFC 系列电容电抗
 Smart PQU 数字化静止无功补偿成套设备	 Smart HPQU 数字化混合补偿成套设备	 EasyLogic™ PQU 静止无功发生器	 Smart PCSU 数字化有源滤波成套设备	 EasyLogic™ PCSU 有源滤波器	 Smart DVR 数字化非储能型电压补偿成套设备	 Smart DVRS 数字化储能型电压补偿成套设备

<< 马达控制及保护中心 >>

 GV 系列 断路器	 TeSys D 接触器	 TeSys D 热过载继电器	 TeSys U 一体化电动机启动控制器	 TeSys T 马达保护控制器	 TeSys G系列 电动机控制与保护
 TeSys island 数字化电动机控制与保护系统	 ATS 480 软起动机	 ATS 490 软起动机	 ATV 630/650 高端流体控制变频器	 ATV 930/950 复杂过程控制变频器	 APM 模块化变频器
 ATV 660/960 柜式变频器					

<< 关键电源与精密空调产品 >>

 Smart 小功率UPS	 Galaxy VS 中小功率UPS	 Galaxy VM 中功率UPS
 Easy 3S/3M 中功率UPS	 Galaxy PW 二代 工业用UPS	 雷纳多系列 精密空调

<< 配电运营顾问 >>

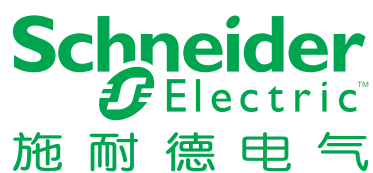
 EcoStruxure™ Energy Management System Plus 能碳管理	 EcoStruxure™ Power Operation Advisor Asset Expert 资产健康
 EcoStruxure™ Power Operation Advisor Power Quality 电能治理	 EcoStruxure™ Power Operation Advisor PSMS 预测仿真

<< 特色服务 >>

 Service Logbook 服务
 MPS 配电系统咨询服务
 Ecofit™ 适配改造服务

<< 电力监控系统 >>

 EcoStruxure™ Energy Operation 电力综合运营系统	 EcoStruxure™ Power Operation 电力监控系统
 POI-MV 中压主动运维智能单元	 POI 站控专家 POI+ 站控大师



施耐德电气（中国）有限公司
Schneider Electric(China)Co.,Ltd.

北京市朝阳区望京东路6号
施耐德电气大厦
邮编：100102
电话：(010) 8434 6699
传真：(010) 8450 1130

Schneider Electric Building, No. 6,
East WangJing Rd., Chaoyang District
Beijing 100102 P.R.C.
Tel: (010) 8434 6699
Fax: (010) 8450 1130

© 2026 Schneider Electric 版权声明：

文中出现的施耐德电气产品商标为施耐德电气及其子公司和附属公司财产。文中出现的其他企业或品牌商标为其所有者财产。未经施耐德电气书面授权，不得以任何方式复制、抄袭、影印、翻译本文档的任何内容。凡转载或引用本文任何观点、数据等信息，请注明“来源：施耐德电气”。