

《电动垂直起降(eVTOL)航空器非机载传导式充电设备技术规范》编制说明

一、项目背景

(一) 国内外现行相关标准情况

随着 eVTOL 航空器技术的快速发展, 其充电设备的技术规范成为保障飞行安全和运行效率的关键。eVTOL 航空器的充电技术发展经历了从探索阶段到逐步标准化的过程。早期, 充电技术主要由各企业根据自身需求独立开发, 例如 Beta Technologies 于 2019 年率先推出了定制化的快速充电系统, 为其 ALIA-250 飞行器提供直流快速充电服务, 同时考虑到充电网络的可扩展性和互操作性。随后, Joby Aviation 和 Archer Aviation 等企业也分别推出了专属充电接口和基于组合充电系统 (CCS) 标准的充电解决方案。ASTM F3239-22a 和 ASTM F3316-19 等标准为电动飞机的电推进系统和电气系统提供了基本要求, RTCA/DO-160G 和 RTCA/DO-178C 等文件则针对机载设备的环境条件和软件认证提出了规范。在国内, GB/T 18384、GB/T 18487 系列标准以及 GB/T 33587 等文件为电动飞机的安全充电和设备设计提供了指导。然而, 这些标准主要针对传统电动飞机或电动汽车, 未能完全覆盖 eVTOL 航空器的特殊需求。

目前, eVTOL 航空器的充电技术正在向高功率、快速充电和智能化管理方向发展, 同时注重与现有电动车充电网络的整合, 为未来的城市空中交通提供高效可靠的充电基础设施支持, 但截至目前, 尚未有全球统一的 eVTOL 航空器充电标准被广泛采用。

(二) 必要性和意义

(1) 电动飞机的快速发展对充电设备提出了更多的充电需求

电动飞机产业是未来低空经济的重要的载体, 可以运用到低空出行、低空物流、空中观光、商务接驳、应急救援等多个领域。2023 年 12 月, 中央经济工作会议明确将“低空经济”确定为国家战略性新兴产业, 电动飞机逐步走向量产。目前, 多家汽车大厂和科技公司布局电动飞机, 电动飞机发展前景广阔。我国政府相关部门出台多项政策支持飞行汽车产业的发展, 如《通用航空装备创新应用实施方案 (2024-2030 年)》《绿色航空制造业发展纲要 (2023-2035 年)》《“十四五”通用航空发展专项规划》等。这些政策的出台和实施, 为电动飞机的发展提供了有力的支持和保障。预计 2030 年电动飞机进入产业大规模发展阶段, 2035

年实现商业化、规模化。电动飞机产业的快速发展，对充电设备提出了更高的数量要求

(2) 电动飞机结构及安全上的特殊性对充电设备提出了更高的设计要求

与现存的电动汽车领域的充电标准相比，电动飞机由于其结构及安全上的特殊性，对充电设备提供了更高的要求，现有的充电标准已不能满足需求：

1) 电动飞机电池容量提升对充电设备提出了高功率充电需求

相较于电动汽车，电动飞机电池容量要远高于电动汽车，并且根据运营需求，要求电动飞机的充电具有更高的充电功率，这就导致当前电动汽车充电设备难以满足航空高功率的充电需求，亟需研制适用于电动飞机的快速、高功率安全充电技术。

2) 电动飞机结构上的特殊性对充电设备接口提出了特殊需求

当前的电动飞机多采用分布式架构，导致其电池布局同样多采用多组电池的分布式布局，这与传统的电动汽车采用的集中式电池组有明显差异。因此在充电时需要考虑，通过多个充电接口实现对多组电池的均衡充电，保障各组电池性能的一致性。当前的电动汽车充电标准仍未考虑到这种特殊结构的充电需求。

3) 电动飞机更高的安全属性对充电设备提出了更高的安全需求

相较于电动汽车，电动飞机对安全性的要求更高。FAA、EASA 以及我国民航局，均在相应的适航条款中对充电安全做了限定，国际标准 ASTM3239 也对电动飞机的充电安全做了规定。因此，当前的充电设备，如何能满足适航当局以及相关标准的安全需求，仍需要充电标准做出相应的规定。

因此，本项目拟针对 eVTOL 航空器充电的特殊性，以及垂直起降的特殊工况，制定专门的充电设备地方标准，能够为 eVTOL 航空器充电设备的设计、制造和使用提供明确的技术依据，促进 eVTOL 航空器产业的健康发展，提升深圳市在全球城市空中交通领域的竞争力，同时为本领域行业标准及国家标准的制定提供参考。

二、工作简况

(一) 任务来源

本标准的编制任务由深圳市市场监督管理局下达，旨在规范 eVTOL 航空器非机载传导式充电设备的技术要求，推动相关产业的标准化发展。

(二) 主要工作过程

1. 立项与调研：2024 年 12 月，项目正式立项。起草团队对国内外相关标准进行了全面调研，分析了 eVTOL 航空器充电设备的市场需求和技术现状。

2. 草案编制: 2025 年 1 月至 3 月, 起草团队结合调研结果, 参考 GB/T 18487 等国家标准以及国际先进标准, 完成了标准草案的编写。

3. 征求意见: 2025 年 3 月至 4 月, 向行业专家、企业代表以及相关政府部门征求意见, 并根据反馈意见对草案进行了修改完善。

4. 送审稿编制: 2025 年 4 月至 5 月, 进一步完善标准内容, 形成送审稿。

5. 地标转团标: 2025 年 10 月 17 日, 《电动垂直起降(eVTOL)航空器非机载传导式充电设备技术规范》转入深圳市低空经济产业协会开启团标制定。

三、 地方标准主要内容的依据以及与国内领先、国际先进标准的对标情况

本文件的起草工作符合 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》的规范性要求, 确保了文件结构严谨、体系清晰。

(一) 主要内容的依据

第 5 章通用要求: 主要面向 eVTOL 航空器高功率充电特殊需求, 从充电参数方面对充电设备进行限定。参考 GB/T 18487.1-2015《电动汽车传导充电系统 第 1 部分: 通用要求》、GB/T 20234.3-2015《电动汽车传导充电用连接装置 第 3 部分: 直流充电接口》、GB/T 27930-2015《电动汽车非车载传导充电机与电池管理系统之间的通信协议》、GB/T 4208-2017《外壳防护等级 (IP 代码)》、GB/T 16935.1-2008《低压设备的绝缘配合第 1 部分: 原理、要求和试验》。编制过程中充分考虑 eVTOL 航空器系统运行环境的特殊性, 例如频繁起降、电池荷电状态变化剧烈、地面运维周期短等特点, 明确提出了充电桩在电气参数 (电压、电流、功率)、散热能力、结构强度、通信能力与安全防护等方面的适航型要求, 并引入了适用于航空电动系统的保护机制设计理念。

第 6 章充电接口: 主要面向 eVTOL 航空器的分布式电池架构充电特殊需求, 从接口上对充电设备进行限定。参考 GB/T 20234.1-2015《电动汽车传导充电用连接装置 第 1 部分: 通用要求》、GB/T 11918.1-2014《工业用插头插座和耦合器 第 1 部分: 通用要求》。针对 eVTOL 航空器的多组电池充电需求, 提出了多路独立直流输出通道的设计理念。

第 7 章通信协议: 主要面向 eVTOL 航空器的更高安全需求, 对充电设备的通讯协议进行限定。参考 GB/T 27930-2015《电动汽车非车载传导式充电机与电池管理系统通信协议》、GB/T 34658-2017《电动汽车充电设备信息安全技术要求》。编制过程中充分考虑 eVTOL 航空器充电场景下的特殊性, 例如在充电结束阶段充电机和 BMS 依据交互信息评估起飞安全状态特点, 明确提出了包括但不限于充电状态信息、分布式均衡策略信息、电池状态信息、

动态控制指令等，并对数据加密保护，确保数据传输不被窃取、篡改或伪造。

第8章安全标准与测试要求：主要面向eVTOL航空器的测试与环境适用性，参考GB/T 18487.1-2015《电动汽车传导充电系统—第1部分：通用要求》、GB 4706.1-2005《家用和类似用途电气用品的安全通用要求》、GB 4943.1-2022《音视频、信息技术和通信技术设备第1部分：安全要求》、RTCA DO-160G《机载设备环境条件和试验程序》、GB/T40428-2021《电动汽车传导充电电磁兼容性要求和试验方法》、GB39752-2024《电动汽车供电设备安全要求提出了电气安全》、环境适应性和电磁兼容性的具体测试要求。

第9章能效与互操作性：主要面向eVTOL航空器充电设备的通用性，用于满足不同类型eVTOL航空器的充电需求。参考GB 36278-2018《电动汽车充电设备能效限定值及能效等级》、GB/T 20234.1-2023《电动汽车传导充电用连接装置 第1部分：通用要求》、GB/T 20234.4-2023《电动汽车传导充电用连接装置 第4部分：大功率直流充电接口》。旨在推动eVTOL航空器充电设备的节能降耗，降低运行成本，同时提升设备的散热性能和使用寿命。

(二) 与国内领先、国际先进标准的对标情况

与国内标准对标：本标准在通用要求、充电接口设计、通信协议和安全保护机制等方面进行了细化和补充，用于体现电动飞机充电的特殊性，技术指标高于现有国家标准，更适用于eVTOL航空器的充电，达到国内领先水平。

与国际标准对标：在环境适应性和电磁兼容性方面，本标准在采用GB/T40428-2021《电动汽车传导充电电磁兼容性要求和试验方法》、GB39752-2024《电动汽车供电设备安全要求提出了电气安全》的基础上，建议部分条款采用RTCA/DO-160G的试验要求，与国际先进标准接轨。同时，增加了数据加密和身份认证等信息安全要求，符合国际上对航空设备网络安全安全的最新趋势。

四、 主要条款的说明以及主要技术指标、参数、试验验证的论述

(一) 适用范围

本文件规定了电动垂直起降（eVTOL）航空器非机载传导式直流充电设备的通用要求、充电接口、通信协议、安全与试验、能效及互操作性要求。

本文件适用于实现eVTOL航空器动力锂电池系统与电网之间充电能量传输的非机载传导式直流充电设备。

(二) 主要技术内容

1. 第5章通用要求：本章节内容在借鉴电动汽车标准的基础上，结合电动飞机充电场

景特征进行了扩展与创新，既保持了技术上的兼容性，又体现了航空级安全标准的适用性，具有明确的工程实施导向，适用于 eVTOL 航空器起降场站、移动式补能系统、地面维护基地等典型充电场景的设备选型与验收。

①第 5.1 节提出了直流充电桩在设计与制造过程中的总体要求与分类方法，明确了结构防护、电气安全与模块化拓展等通用设计原则；

②第 5.2 节细化了电压、电流与功率等关键技术参数的匹配及可调范围，适应多类型 eVTOL 航空器电池系统；

③第 5.3 节明确了 eVTOL 航空器的充电模式，体现了电动航空充电的特殊性；

④第 5.4 节提出了过压、过流、漏电、急停等多重保护机制，保障地面运行人员与设备安全。

2. 第 6 章充电接口：为满足电动飞机充电需求，对充电接口的结构（包括插座结构、插头和连接器的结构以及触头表面）、型式与尺寸、锁止装置（包括机械锁止装置和电子锁止装置）、插拔力、防触电保护、温升以及充电寿命给出了相关要求。对充电接口各项设计维度提出全面要求，是为确保电动飞机多电池组供能架构下的接口系统，具有高可靠性、高安全性与可维护性，从而支撑整个飞行器系统的安全运行与工程落地。

①第 6.1 节功能性要求与总体设计，提出了接口设计的功能要求，重点强调了 eVTOL 航空器的多分布式电池组的充电需求。

②第 6.2 节结构要求，提出了接口设计的功能要求，重点强调了 eVTOL 航空器的多分布式电池组的充电需求。

③第 6.3 节 型式与尺寸，合理设计可以防止因接触不良导致的发热、击穿或火灾风险，并确保长期可靠运行。

④第 6.4 节 锁止装置，机械和电子锁止装置是为了避免带电插拔、插合不完全或意外脱落等危险操作，是满足航空安全标准的重要措施。锁止机制配合控制逻辑，可有效保障接口只有在安全状态下才能通电或断电。

⑤第 6.5 节 插拔力，插拔力限制和可选的助力装置设计，使接口既能保证牢固连接，又便于人工或自动化设备操作，避免插拔困难或损坏设备。

⑥第 6.6 节 防触电保护，防触电设计确保在插拔或误操作情况下，人体不会接触到带电部件，是电动航空设备必须具备的基本电气安全防护机制。

⑦第 6.7 节 温升，在高电流持续充电的工况下，温升限制可防止因发热导致的材料老

化、接触损伤或热失控问题，确保长期运行可靠。

⑧第 6.8 节 使用寿命章，电动飞机充电接口在地面运维频次高、寿命周期长，要求其结构与性能在高达万次插拔和长时间使用后仍保持功能完好，这也是适航性认证的重要一环。

3. 第 7 章通信协议：在编制过程中，紧密结合 eVTOL 航空器对 BMS 在航空场景下的特殊需求以及在数据加密、身份认证、网络攻击等方面的应用需求，依据现行国家标准，提出了 eVTOL 航空器非机载传导式充电设备技术下通信协议的规范要求。

①第 7.1 节提出了总体充电流程，总体充电流程包括六个阶段：物理连接完成、低压辅助上电、充电握手阶段、充电参数配置阶段、充电阶段和充电结束阶段。提出了 eVTOL 航空器充电场景下通讯协议的特殊应用。

②第 7.2 节提出数据加密传输的相关关键数据，以及根据国家密码管理局相关规定，对密钥交换和数据加密。

③第 7.3 节明确了充电机与机载电池 BMS 在建立通信连接时，应进行双向身份认证，确保双方均为合法实体。并常采用数字证书、动态密钥等方式实现。

④第 7.4 节提出了网络攻击防御手段、阻断及报警机制以及软件更新等方式防止网络攻击。

4. 第 8 章安全标准与测试要求：涵盖了电气安全、环境适应性和电磁兼容性测试的具体方法和指标，确保设备在复杂环境下的稳定性。

①第 8.1 节分别规范了 eVTOL 航空器充电桩的绝缘电阻、耐压测试和接地连续性测试要求。绝缘电阻测试旨在确保高压工况下的电气隔离性能，防止漏电和电击事故；耐压测试验证绝缘材料在高电压下的耐受能力，避免绝缘击穿引发的安全风险；接地连续性测试则确保故障电流能够通过低阻抗路径导入大地，防止电击和设备损坏。鉴于 eVTOL 航空器充电桩的高电压（1000V 以上）、复杂工作环境（如低温、高温、盐雾、振动等），这些测试至关重要。目前相关标准尚不完善，可分别参照 GB/T 18487.1-2015、GB 4706.1-2005 和 GB 4943.1-2022 制定具体要求和测试步骤。

②第 8.2 节确保充电系统在极端工况下的可靠性，涵盖设计规范与验证标准。环境适应性不足会引发短期充电效率衰减、设备寿命折损，中长期可能导致系统性故障，影响航空器运行安全。

③第 8.3 节确保充电系统在复杂电磁环境下的可靠性和安全性。充电桩运行环境电磁复

杂，需验证其在辐射发射、传导敏感度、雷击浪涌等干扰场景下的稳定性。

④第 8.4 节提出了充电设备输出电能质量的要求，避免对待充电电池产生损伤。

5. 第 9 章能效与互操作性：围绕 eVTOL 航空器充电设备的能源利用效率和跨系统协同能力，提出了能效分级控制、兼容性测试体系及通信安全机制等核心要求，旨在推动充电设备低碳化、标准化发展，支撑城市空中交通（UAM）网络的安全高效运行。

①第 9.1 节能效标准针对 eVTOL 航空器充电设备高功率特性，建立了覆盖一体式/分体式设备的能效分级体系，通过限定充电效率、待机功耗及运行功耗，实现能量损耗控制与设备热管理优化。

②第 9.2 节互操作性构建了覆盖物理接口、通信协议、安全认证的互操作体系，解决 eVTOL 航空器充电设备跨品牌、跨机型适配难题，确保充电流程的可靠性与信息安全。

(三)主要技术指标、参数、试验验证

1. 充电效率：本标准将充电效率划分为三个等级，1 级不低于 95.5%，2 级不低于 95.0%，3 级不低于 94.0%。通过实验室测试验证，确保设备在不同功率输出下的效率符合要求。

2. 接口寿命：充电接口需满足至少 10000 次插拔循环测试，确保在长期使用中的可靠性。试验验证通过模拟实际使用场景，对接口进行反复插拔测试。

3. 绝缘电阻和耐压测试：绝缘电阻不低于 10 M Ω ，耐压测试电压为 3000 V，泄漏电流不超过 10 mA。通过严格的测试流程，确保设备的电气安全性能。

4.试验验证

充电设备测试，除满足电动汽车的试验验证外，也需要考虑航空场景下的测试需求，部分测试需遵循 DO-160G。

五、 是否涉及专利等知识产权问题

本标准在编制过程中未涉及任何专利或其他知识产权问题。所有技术内容均为公开的国家标准、国际标准以及行业通用技术，不存在知识产权纠纷。

六、 重大意见分歧的处理依据和结果

在征求意见过程中，部分企业对充电接口的多路独立输出通道设计提出了不同意见，认为技术实现难度较大。经过专家论证和多次技术研讨，最终确定该设计为必要条款，理由如下：

1.eVTOL 航空器多组电池的充电需求无法通过单路输出满足,多路输出能够显著缩短充电时间。

2. 现有技术已能够实现多路输出通道的设计,并且已有部分企业进行了相关技术的研发和应用。

3. 该设计能够提升充电效率,符合 eVTOL 航空器产业的发展需求。

七、 实施地方标准的措施建议

1. 宣传培训: 通过举办培训班、研讨会等方式,对相关企业、检测机构和监管部门进行标准宣贯,确保各方准确理解和执行标准。

2. 监督执法: 加强对 eVTOL 航空器充电设备生产企业的监督检查,确保产品符合地方标准要求。对不符合标准的产品,依法进行处理。

3. 认证管理: 建立自愿性认证体系,对符合标准的充电设备授予专用标识,推动行业标准化发展。

4. 持续改进: 根据技术发展和市场需求的变化,定期对标准进行修订和完善,确保标准的科学性和适用性。

八、 其他需要说明的事项

无。