

► **投资建议：**低空经济是全球竞逐的战略新兴产业，是新质生产力的重要方向。我们在低空经济系列报告的第一篇报告中，论述了低空经济概念、格局、空间，以及对通航产业进行了回顾，并分析了 3 个制约因素和 4 个必备条件。本篇报告我们重点聚焦 eVTOL 产业，针对五个核心问题展开讨论：**1) 适航取证之路；2) 构型之争；3) 动力系统；4) 商业化路径；5) 空管系统。我们认为：**当前低空经济发展顶层规划坚定、政策支持明确，多产业融合发展生态也有进展，正处于从 0 到 1 的发展阶段，建议关注低空飞行器产业链和低空新基建两条投资主线。

### ► 核心观点

**适航取证是产品推向市场的必由之路；构型和动力等技术问题会逐步解决。**

**1) 型号合格证 (TC)、适航证 (AC)、生产许可证 (PC)** 是民用航空器适航所需的“三大通行证”，其中航空器只有通过型号合格审定，才能投入生产和使用，适航证是检验飞行器的安全飞行能力是否符合要求，生产许可证反映出企业的综合管理水平。适航取证的进展在某种程度上决定了企业在竞争中的快慢身位；**2) eVTOL 构型的选择与企业自身资源禀赋密切相关，技术虽有优劣但并不是产品综合竞争力的决定性因素。动力系统作为 eVTOL 产品的关键系统之一，决定了航程等参数指标，其中提高电池能量密度是动力系统的关键。**

**eVTOL 商业化之路或将经历旅游观光、工业应用、城市出行 3 个发展阶段。**

我们认为：**1) 第一阶段：**在 eVTOL 产品和低空经济产业发展初期，适用于以景区观光等场景为主的短途飞行。与此同时，低空空管系统、临时起降点等开始建设，具备一定适航条件；**2) 第二阶段：**飞行器续航能力提升，民众可接受程度提升、低空基础设施配套也逐渐完善，eVTOL 应用或将渗透到应急救援、医疗转运、安防、物流等领域；**3) 第三阶段：**全自主飞行、避障、降噪等技术更加成熟；低空基建走向成熟，空管系统高度智能化，伴随飞行器批产成本的降低，“空中的士”时代或将到来，呈现出城市立体分层交通格局。

**低空物联网及高精度立体地图建设或是解决空管问题的重要方式。**空管系统是国家实施空域管理、保障飞行安全、实现航空运输高效有序运行、捍卫我国空域权益的战略基础设施，也是国土防空体系的重要组成部分。未来低空空域或将呈现多类型/多数量的飞行器全域融合运行生态，如何实现全域态势感知、全程“高德”式服务，低空物联网及其高精度地图的建设或将发挥重要作用。与此同时，低空安全问题的重要性也将进一步凸显。

### ► 建议关注

建议关注低空飞行器产业链和低空新基建两条投资主线：

**航空器产业链：****1) 无人机：**纵横股份、中无人机、航天彩虹、航天电子等；**2) eVTOL：**亿航智能、万丰奥威、中直股份、小鹏汽车、峰飞航空（未上市）、沃飞长空（未上市）、沃兰特（未上市）、时的科技（未上市）、御风未来（未上市）、零重力（未上市）等；**3) 配套：**广联航空、宗申动力、中航高科、光威复材、航天环宇、卧龙电驱、边界智控（未上市）、狮尾智能（未上市）等。

**低空新基建：****1) 物联网/空管系统：**中科星图、莱斯信息、四川九洲、海格通信等；**2) 态势感知/空防系统：**航天南湖、国睿科技、四创电子、纳睿雷达等；**3) 模拟器：**海特高新等；**4) 运营/维修：**中信海直、安达维尔等；**5) 基础设施：**深城交、苏交科、威海广泰、中国通号等。

► **风险提示：**行业政策变化风险；市场需求不及预期；技术风险等。

# 目录

<b>1 “漫长”取证路？</b> .....	<b>3</b>
<b>2 构型的路线之争</b> .....	<b>9</b>
<b>3 动力系统与两个关键</b> .....	<b>11</b>
<b>4 商业化路径探寻</b> .....	<b>14</b>
<b>5 低空新基建之物联网/空管系统</b> .....	<b>17</b>
5.1 空管系统：历经多年发展，已实现核心技术自主可控 .....	17
5.2 低空物联网：空天地一体化的智慧空管系统.....	20
<b>6 低空经济的投资机会在哪里？</b> .....	<b>23</b>
6.1 eVTOL 产业链价值量梳理 .....	23
6.2 投资机会：飞行器和低空基建两条思路 .....	24
<b>7 风险提示</b> .....	<b>26</b>
<b>插图目录</b> .....	<b>27</b>

## 1 “漫长” 取证路？

**观点：**在我们讨论低空经济这个话题时，可以有很多角度。但对于 eVTOL 企业来讲，首要的问题可能是如何设计生产出好的产品并成功推向市场，在这中间有一个非常关键的环节，就是适航取证。从某种程度上说，在需求没问题的前提下，适航取证的进展是决定企业能否顺利发展的核心因素。因此，针对民用航空器如何取得适航认证，我们进行了如下分析研究：

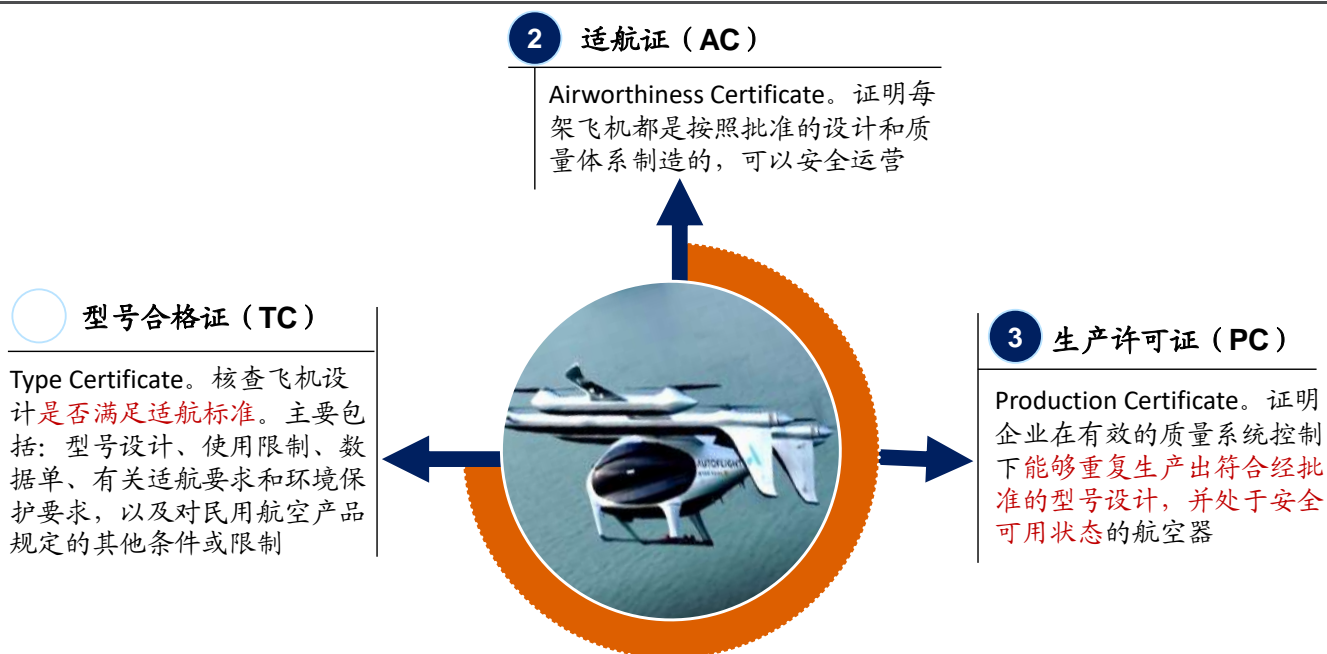
**型号合格证、适航证、生产许可证为民用航空器适航所需的“三大通行证”。**根据《中华人民共和国民用航空法》和《中华人民共和国适航管理条例》规定，民用航空器的适航管理由中国民航局负责，需要对航空器的设计、生产、使用和维修，实施以确保飞行安全为目的的技术鉴定和监督。民用航空器适航需要取得 3 项合格证，分别是：

**1) 型号合格证 (TC)：**任何单位或者个人设计民用航空器，应当持航空工业部对该设计项目的审核批准文件，向民航局申请型号合格证。

**2) 适航证 (AC)：**按照规定生产的民用航空器，须经民航局逐一审查合格后，颁发单机适航证。

**3) 生产许可证 (PC)：**任何单位或者个人生产民用航空器，应当具有必要的生产能力，并应当在获得型号合格证后，经航空工业部同意后，向民航局申请生产许可证。

图1：民用航空器适航三证：型号合格证 (TC)、适航证 (AC)、生产许可证 (PC)



资料来源：中国民航局官网，全意航空公司官网，民生证券研究院

### 1、型号合格证 TC：检查航空器设计是否满足适航标准，是取得其余 2 证的前提

型号合格证核心目的是检查航空器设计是否满足适航标准。型号合格证是中国民用航空局（CAAC）根据《民用航空产品和零部件合格审定规定》颁发的、用以证明民用航空产品符合相应适航规章和环境保护要求的证件。**型号合格证主要包括以下内容：**型号设计、使用限制、数据单、有关适航要求和环境保护要求，以及对民用航空产品规定的其他条件或限制。民用航空器只有通过型号合格审定，才能投入生产和使用。

型号合格审定流程从申请到颁证，一般要经历五个阶段。型号合格审定是中国民用航空局（CAAC）对民用航空产品（指民用航空器、航空发动机或者螺旋桨）进行设计批准的过程（包括颁发型号合格证及对型号设计更改的批准）。**型号合格证审定程序一般包含：项目受理和启动——要求确定——符合性计划制定、符合性确认——颁证等 5 个环节。**对于小的项目，以上阶段可能被压缩或合并。不同类别的民用航空器型号审定流程略有不同：**1）正常类、实用类、特技类、通勤类和运输类飞机、正常类和运输类旋翼航空器、航空发动机及螺旋桨型号合格证的申请，应向中国民航局提交。2）其他民用航空产品，如载人自由气球、特殊类别航空器、初级类航空器、限用类航空器和轻型运动类航空器型号合格证的申请，应向申请人所在地区管理局提交。**

图2：型号合格证审定流程：从申请到颁证，一般要经历五个阶段

阶段	一	二	三	四	五
描述	项目受理和启动	要求确定	符合性计划制定	符合性确认	颁证
主要内容	申请，受理，一般熟悉性介绍	首次TCB会议；审查组熟悉性会议	审查审定计划，确定局方审查重点和方式方法	审查组对申请人的符合性表明工作进行验证	最终TCB会议；颁证
关闭条件	受理申请；组建TCB和审查组	审查组完成技术熟悉工作；初步确定审定基础；相关问题纪要起草	完成审定计划或专项合格审定计划	完成局方验证和确认工作（文件评审、试验目击、审定飞行试验等）	完成型号审查报告；颁发型号合格证

资料来源：中国民航局官网，民生证券研究院

#### 型号合格审定需对产品安全性、适航性、可靠性、抗干扰性等进行多轮测试。

以亿航智能公司为例，公司于 2020 年 12 月 28 日向中国民航局适航司提交了 EH216-S 型无人驾驶航空器型号合格证申请书，并于 2021 年 1 月获得受理，2023 年 10 月 13 日，EH216-S 获得中国民航局颁发的全球首个型号合格证，表明其型号设计充分符合安全标准与适航要求，具备载人商业运营的资格。**EH216-S 型号合格取证整体历时近 3 年**，期间在中国多地的专业航空实验室和试验场地进行了大量实验室试验、地面试验和飞行试验，进行了超过 500 个科目的摸底试验、4 万余架次的调整试飞、以及 65 大项、450 多个科目的正式符合性验证试验。对产品的安全性、适航性、性能、功能、使用、可靠性等进行了全面且严格的验证。EH216-S 的型号认证为中国乃至全球 eVTOL 企业的适航取证起到了示范效应。

## 2、适航证 AC：核心目的是检查飞行器的安全飞行能力

适航审定主要是为保障民用航空活动安全，维护民用航空活动秩序，规范民用航空器的适航管理，对民用航空器的适航检查及相应适航证件进行管理。民用航空器适航证分为标准适航证、特殊适航证、出口适航证、外国适航证、特许飞行证等几大类。民用航空器适航审定的核心目的是检查飞行器的安全飞行能力是否符合要求，审定程序主要分为：申请、受理、适航检查、颁证等几个阶段。

图3：适航证：分为标准适航证、特殊适航证、特许飞行证、出口适航证、外国适航证等五大类

类别	标准适航证	特殊适航证	特许飞行证	出口适航证	外国适航证
适用范围	取得局方设计批准的正常类、实用类、特技类、通勤类、运输类航空器，载人自由气球，特殊类别航空器（如滑翔机、飞艇、甚轻型飞机和其他非常规航空器）	初级类、限用类、轻型运动类、局方同意的其他航空器（如为个人自制航空器颁发实验类特殊适航证）	对尚未取得有效适航证或目前不符合有关适航要求，但在一定限制条件下能够安全飞行的航空器可申请特许飞行证，具体可分为第一类特许飞行证（如科研试飞）和第二类特许飞行证（如改装、修理后进行的调机飞行）	任何出口人或其授权代表可以进行申请；1) 国产新航空器出口适航证应向航空器制造人所在地的民航管理局申请；2) 其他申请人向所在地的民航管理局申请	具有现行有效的外国国籍登记证和适航证，且其型号已经民航局认可。合法占有、使用上述外国民用航空器的中国使用人，可以申请该航空器的外国适航证认可书。申请人应向所在民航地区管理局提出申请
转让性和有效期	在中国国籍登记注册期间，标准适航证可以随航空器一起转让，无需申请变更。其他被暂停、吊销或局方另行规定等情况除外	在中国注册登记期间，特殊适航证（实验类特殊适航证除外）可以随航空器一起转让，无需申请变更。其他被暂停、吊销或局方另行规定等情况除外	有效期由局方评估后给定，不超过一年。对于基于临时国籍证颁发特许飞行证的，有效期不应超过临时国籍证的有效期	/	从颁发之日起至外国适航证有效期满，或租赁合同到期为止，以先到为准，但不超过1年

资料来源：中国民航局官网，民生证券研究院

### 3、生产许可证 PC：保证每一架出厂的航空器及其零部件均符合型号设计和安全要求

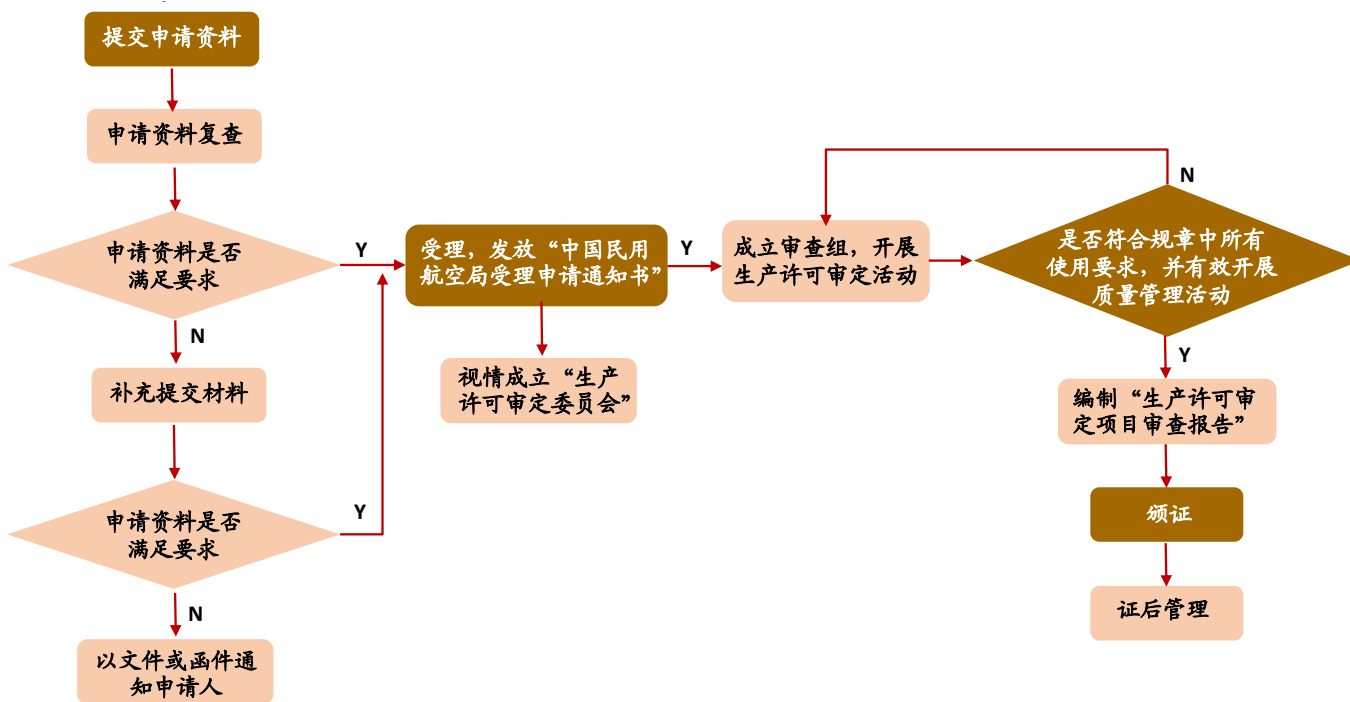
生产许可证是证明企业在有效的质量系统控制下能够重复生产出符合经批准的型号设计，并处于安全可用状态的航空器。

**1) 作用：**中国民航局经过审查申请人的质量控制资料、组织机构和生产设施后，认为申请人已经建立并能够保持符合相关规定的质量控制系统，且其生产的每一架民用航空产品均符合相应型号合格证或型号设计批准书、补充型号合格证或改装设计批准书的设计要求后，所颁发的生产体系认证证书。这张通行证的作用在于要求有一个符合要求的质量保证体系，使得企业能够按照批准的工程设计资料持续稳定地生产出安全可用的飞机。

**2) 法律依据：**依据适航规章《民用航空产品和零部件合格审定规定》(CCAR-21-R5) 及适航管理程序《生产批准和监督程序》(AP-21-AA-2023-31R2)。

**3) 申请资质：**a) 持有或者已经申请型号合格证；b) 持有或者已经申请补充型号合格证或者改装设计批准书；c) 持有上述证件的权益转让协议书；d) 利用位于中国之内的生产设施生产具有型号认可证或者补充型号认可证的民用航空产品，并持有该民用航空产品的型号合格证或者补充型号合格证的权益转让协议书。

图4：生产许可证 PC：核心是衡量企业是否具备批量化的生产能力，并保证每一架飞行器及其零部件均符合相关要求



资料来源：中国民航局官网，民生证券研究院

相比于型号合格证，生产许可证更能体现一家航空制造企业的生产组织及控制、质量管理及综合管理水平。以亿航智能 EH216-S 的批量生产流程为例，整个生产质量管理体系覆盖原材料、供应商管理、生产组织、生产质量管控、航空器出厂测试、售后维修维护等环节，让每一个生产环节都有章可循、有据可查，确保所有零件、部件和系统都可追溯、安全受控，保证每一架出厂的航空器及其零部件均能符合经批准的型号设计和安全要求。2023 年 5 月，亿航智能向中南局提交了 EH216-S 型载人无人机生产许可证 (PC) 的申请，当时该航空器的型号合格证仍在密集开展符合性验证的阶段，按照现行有效规章程序的规定，中南局受理了该申请<sup>1</sup>；2024 年 4 月 7 日，亿航智能 EH216-S 无人驾驶 eVTOL 获得中国民航局颁发的生产许可证。这是全球首张 eVTOL 生产许可证，是自 EH216-S 成功取得型号合格证、标准适航证之后的又一重要里程碑，标志着 EH216-S 率先迈入规模化生产阶段，也为其下一步的商业化运营提供了重要保障<sup>2</sup>。

总体而言，适航活动贯穿民用航空产品和零部件的设计、制造、使用、维修直至退役的全寿命周期。本章我们详细梳理了民用航空器的适航审定要求，即需要取得三项合格证：型号合格证 (TC)、适航证 (AC) 和生产许可证 (PC)。但目前 eVTOL 的适航审定还没有统一的标准文件，因此专用适航条件制定的合理与否至关重要；eVTOL 产品的典型特点是纯电力、可垂直起降、构型存在差异化（多旋翼、复合翼、倾转旋翼等），那么适航审定时除了要考虑常规性要求外，还要重点考查如飞行器垂直起降的悬停性能、固定翼状态的低速性能、垂直起降期间升力部分丧失的处理能力、电池的过热管理以及能量密度是否符合要求等多个方面。航空器的适航审定过程可能会“复杂且漫长”，但终极目的都是为了确保“适航性和安全性”。此外，根据《通用航空经营许可管理规定》，当通过适航审定的航空器要投入到市场进行使用时，相关运营企业还需要向中国民航局申请取得运营许可证 (OC)。

<sup>1</sup> [http://zn.caac.gov.cn/ZN\\_DQYW/202404/t20240416\\_223537.html](http://zn.caac.gov.cn/ZN_DQYW/202404/t20240416_223537.html)

<sup>2</sup> <https://mp.weixin.qq.com/s/OGM2mzYRA6EclHwk9dpmg>

**图5：型号合格证 (TC)、生产许可证 (PC)、标准适航证 (AC) 和运营许可证 (OC) 示意图**

<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <div style="background-color: red; color: white; padding: 2px; text-align: center;"><b>TC</b></div> <p style="text-align: center;"><b>中国民用航空局</b> CIVIL AVIATION ADMINISTRATION OF CHINA</p> <hr/> <p style="text-align: center;"><b>型号合格证</b> TYPE CERTIFICATE</p> <p style="text-align: center;">编号/No. _____</p> <p>本型号合格证颁发给：                  (型号合格证持有人名称)                  (型号合格证持有人地址)</p> <p>经中国民用航空局审查确认下列型号的设计符合中国民用航空规章_____的规定，主要性能数据见本证所附型号合格证数据单。</p> <p>型号：_____</p> <p>本证件和作为本证件一部分的型号合格证数据单将保持有效，直到被中国民用航空局暂扣、吊销，或另行规定终止日期。</p> </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <div style="background-color: red; color: white; padding: 2px; text-align: center;"><b>PC</b></div> <p style="text-align: center;">中国民用航空局 CIVIL AVIATION ADMINISTRATION OF CHINA</p> <hr/> <p style="text-align: center;"><b>生产许可证</b> PRODUCTION CERTIFICATE</p> <p style="text-align: center;">编号 (No.) _____</p> <p style="text-align: center;">本生产许可证发给 This certificate is issued to:</p> <hr/> <p style="text-align: center;">公司注册地址 whose business address is:</p> <hr/> <p style="text-align: center;">总装设施地址 whose final assembly facilities are located at:</p> <hr/> <p style="text-align: center;">序号 _____ 总装设施地址 _____</p> </div>						
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <div style="background-color: red; color: white; padding: 2px; text-align: center;"><b>AC</b></div> <p style="text-align: center;">中国民用航空局 Civil Aviation Administration of China</p> <p style="text-align: center;">民用无人驾驶航空器标准适航证 编号/No.: _____</p> <p style="text-align: center;">STANDARD AIRWORTHINESS CERTIFICATE</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">1. 登记标志 Registration Marks</td> <td style="width: 33%;">2. 民用无人驾驶航空器制造人和型号 Manufacturer and manufacturer's designation of aircraft</td> <td style="width: 33%;">3. 民用无人驾驶航空器序号 Aircraft Serial No.</td> </tr> <tr> <td colspan="2">4. 遥控台 (站) 型号及类别 Remote pilot station (RPS) type(s) and/or model(s)</td> <td>5. 民用无人驾驶航空器的链路 (C2 链路) Link(s) for aircraft (C2 Link(s))</td> </tr> </table> <p>6. 类别 Category:</p> <p>7. 本适航证根据 1944 年 12 月 7 日《国际民用航空公约》和《中华人民共和国航空法》及根据该法发布的有关规定颁发。本无人驾驶航空器系统在按照各项规定进行维修和各项运行限制运行时是适航的。This Certificate of Airworthiness is issued pursuant to the Convention on International Civil Aviation dated 7 December 1944, and to the Civil Aviation Law of the People's Republic of China and regulations issued thereunder, in respect of the above-mentioned aircraft which is considered to be airworthy when maintained and operated in accordance with the foregoing and the pertinent operating limitations.</p> <p>局长授权 For the Minister: _____ 颁发日期 Date of Issuance: _____</p> <p>签发人: _____ 部门/职务: _____ Signature: _____ Dept./Title: _____</p> <p>8. 在中国注册登记期间，除非被暂扣、吊销或局方另行规定终止日期外，无人驾驶航空器在按照各项规定进行维修并按照规定限制运行时，本适航证长期有效。Unless suspended, revoked or a termination date is otherwise established by the authority, this airworthiness certificate is effective as long as the maintenance is performed in accordance with the appropriate Civil Aviation Regulations of China and the aircraft is operated according to the prescribed limitations when the aircraft is registered in the People's Republic of China.</p> <p>备注 Remarks: _____</p> <p>表-21-532-2022 <span style="float: right;">第 1 页 共 2 页</span></p> </div>	1. 登记标志 Registration Marks	2. 民用无人驾驶航空器制造人和型号 Manufacturer and manufacturer's designation of aircraft	3. 民用无人驾驶航空器序号 Aircraft Serial No.	4. 遥控台 (站) 型号及类别 Remote pilot station (RPS) type(s) and/or model(s)		5. 民用无人驾驶航空器的链路 (C2 链路) Link(s) for aircraft (C2 Link(s))	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <div style="background-color: red; color: white; padding: 2px; text-align: center;"><b>OC</b></div> <p style="text-align: center;">民用无人驾驶航空器运营合格证 REMOTELY PILOTTED AIRCRAFT SYSTEMS AIR OPERATOR CERTIFICATE</p> <p style="text-align: center;">合格证编号 (NUMBER): _____ UAOC-O/S/C-HB-*****</p> <p>运行人名称/NAME OF OPERATOR: _____</p> <p>运行人地址/BUSINESS ADDRESS: _____</p> <p>主运行基地/PRINCIPAL BASE OF OPERATIONS: _____</p> <p>运行管理联系人/CONTACT PERSON: _____</p> <p>经审查，该运行人符合中国民用航空规章第92部(CCAR-92)的要求，批准从事如下种类运行： Upon findings that the air operator complies with the requirements of CHINA CIVIL AVIATION REGULATION part 92(CCAR-92), the air operator is approved to conduct operations of the following category:</p> <p>运行种类/CATEGORY OF OPERATION:</p> <p><input type="checkbox"/> 留空飞行/Hover Operation    <input type="checkbox"/> 航线飞行/Line Operation    <input type="checkbox"/> 其他飞行/Others</p> <p>经营种类/COMMERCIAL OPERATION:</p> <p><input type="checkbox"/> 载客类/Passenger on board    <input type="checkbox"/> 载人类/Person on board    <input type="checkbox"/> 载货类/Laden    <input type="checkbox"/> 培训类/Training    <input type="checkbox"/> 其他类/Others</p> <p>请扫描二维码核验经批准的具体运营内容 Please scan the QR code to verify the approved operation.</p> <p>上述运行的具体限制详见局方批准的《运营规范》。 Limitations for above operations may refer to OPERATION SPECIFICATION approved by CAAC.</p> <p>本运营合格证颁发或吊销，2年有效。 This certificate shall be valid for 2 years, unless abandoned or revoked.</p> </div>
1. 登记标志 Registration Marks	2. 民用无人驾驶航空器制造人和型号 Manufacturer and manufacturer's designation of aircraft	3. 民用无人驾驶航空器序号 Aircraft Serial No.					
4. 遥控台 (站) 型号及类别 Remote pilot station (RPS) type(s) and/or model(s)		5. 民用无人驾驶航空器的链路 (C2 链路) Link(s) for aircraft (C2 Link(s))					

资料来源：中国民航局官网，民生证券研究院



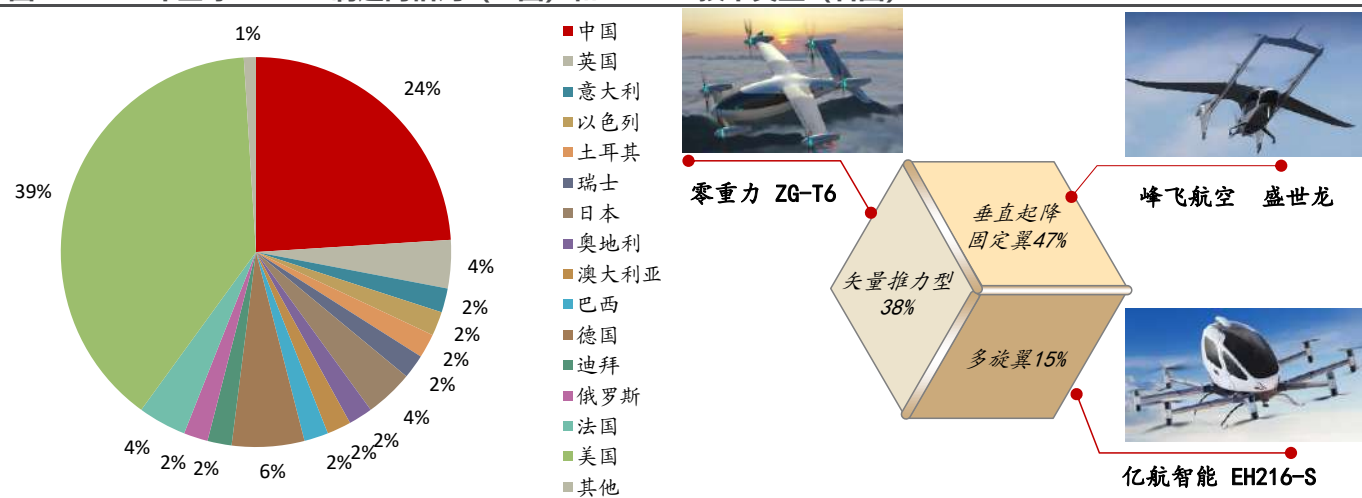
## 2 构型的路线之争

**观点：**在我们对民用航空器（尤其是 eVTOL）适航取证的问题研究之后，当聚焦到产品本身，就会注意到不同企业的 eVTOL 构型各不相同，企业选择不同的构型有其自身的道理。但对构型的优劣比较分析，以及不同构型在适航取证时是否会不同，这些可能是市场较为关注的问题。我们研究分析如下：

根据航空产业网统计，全球 eVTOL 制造商目前主要分布在美国、中国、德国、法国、日本和英国等，累计占据了 80% 以上的市场份额。此外，我们还发现这类地区通常还具有强的航空航天技术底蕴和高端制造能力、较强的市场需求以及有力的政策支持，或许一定程度上可以认为这是支撑 eVTOL 产业实现较好发展的有力条件。当前 eVTOL 企业主要分为 2 类：**一类是传统飞机和汽车行业巨头**，如空客、巴航工业、罗罗、丰田、吉利等；**另一类是初创企业**，如美国的 Joby、Archer、Wisk、Beta、ZeroAvia、Wisk、Jaunt，德国的 Volocopter、Lilium，以色列的 UrBanAeronautics，英国的 Vertical Aerospace，欧洲的空客 CityAirbus，日本的 Skydrive 等，以及中国的亿航智能、峰飞航空、沃兰特、沃飞长空、时的科技、小鹏汇天、御风未来、零重力飞机等。

**目前 eVTOL 的主流构型有三类：垂直起降固定翼、矢量推力型、多旋翼型，与无人机整体布局划分类似。**截至 2023 年 7 月，飞行器整体布局：**1) 垂直起降固定翼（复合翼）占比 47%**，如沃兰特的 VE25，零重力的 ZG-VC2，峰飞航空盛世龙等，沃飞长空的 XB-12；**2) 矢量推力（倾转旋翼）布局占比 38%**，如时的科技的 E20，零重力的 ZG-T6、沃飞长空的 AE200；**3) 多旋翼布局占比 15%**，如亿航智能 EH216-S、小鹏汇天的旅航者等。

图6：2023 年全球 eVTOL 制造商格局（左图）和 eVTOL 技术类型（右图）



资料来源：航空产业网，零重力官方公众号，中国航展网，亿航智能公司官网，民生证券研究院




### eVTOL 不同构型的升力原理、性能表现与适用场景各有不同。

**1) 多旋翼构型:** 该类飞行器没有额外组件, 结构轻便、设计相对简单、制造成本较低, 是技术发展最为成熟的构型之一, 但航程、速度和有效载荷表现一般。

**2) 垂直起降固定翼/复合翼构型:** 最大程度上保留了传统固定翼飞机的特征, 机舱布局更灵活。在悬停和低速飞行时, 飞机以垂直起降模式运行; 当速度增加到一定程度, 旋翼转速会降低直至停止运转, 与此同时机翼逐渐加入使用, 并完全承担升力, 此时向前的推力由螺旋桨系统承担。复合翼构型可以实现较高的飞行速度, 而且降低了震动水平, 提高了机动性; 但同时也存在结构死重较多并会产生额外阻力的缺点。

**3) 矢量推进/倾转旋翼构型:** 目前能兼具效率和成本的一种构型, 同时也是研发难度较大、机械设计非常复杂的机型。飞行器配备了可倾转电驱动组件, 可通过改变推力方向来实现垂直起降或巡航。在垂直起降模式下, 执行垂直起飞和降落、悬停和低速飞行; 当飞行速度达到一定水平时, 旋翼沿着发动机舱(或机翼)倾转到水平位置, 旋翼变为推进螺旋桨, 飞行器以固定翼飞机模式进入高速飞行。为了平衡悬停性能和高速飞行性能, 旋翼需要兼顾多个场景, 因而其悬停效率低于多旋翼和复合翼, 但在垂直飞行、高速巡航等方面表现良好。

图7: eVTOL 不同构型的对比分析

构型	升力原理	优势	劣势	构型示意图	代表机型
多旋翼	1) 采用3个及以上分布式电推进系统; 2) 推进装置仅提供垂直升力, 水平机动通过推力差实现;	1) 自重较轻 2) 制造成本低 3) 设计相对简单 4) 技术风险/研制难度较低	1) 能效比低 2) 有效载荷少 3) 航程有限 4) 速度较慢 5) 应用场景局限	 多旋翼	亿航智能EH216-S 小鹏汇天旅航者X2 德国Volocopter公司的VoloCity
复合翼	1) 采用3个及以上分布式电推进系统; 2) 推进装置分别提供垂直升力(旋翼)和向前推力(螺旋桨);	1) 巡航效率/航程提升 2) 安全性提升 3) 飞行包线提高 4) 生产和维护相对简单 5) 技术风险/研制难度较低	垂直升力系统在平飞阶段是死重并会产生额外阻力	 垂直起降固定翼	峰飞航空 盛世龙 沃兰特VE25 美国Archer公司的Midnight
倾转旋翼	1) 采用3个以上的分布式电推进系统; 2) 部分推进装置倾转以提供垂直升力和向前推力, 其余仅提供垂直升力	1) 推力大 2) 自重较轻, 死重较少 3) 垂飞和高速巡航表现好	1) 悬停效率低 2) 机械设计和飞控系统复杂 3) 研发难度大 4) 成本高 5) 试飞难度大, 适航认证时间长	 倾转旋翼型	沃飞长空 AE200 零重力飞机 ZG-T6 美国Joby公司S4

资料来源: 航空产业网, 邓景辉《电动垂直起降飞行器的技术现状与发展》, 各公司官网, 民生证券研究院

### 3 动力系统与两个关键

观点：我们在低空经济系列报告第一篇《新质生产力标杆赛道，低空经济展翅高飞》报告中，对低空经济的概念进行了阐述，并对通航和 eVTOL 进行了比较分析。关于 eVTOL 是传统通航飞行器的升级？颠覆？补充？产业中有很多讨论。决定 eVTOL 能否应用落地的主要性能指标之一就是续航能力，我们用“两个关键”来形容这个问题：动力系统是 eVTOL 产品的关键；提高电池能量密度是动力系统的

关键。  
eVTOL 主要由动力系统、机载系统、机体结构等构成。eVTOL 作为新一代航空革命性飞行器，集合了新概念、新能源、新材料、新技术，此类飞行器的出现很大程度要受益于电池储能技术的发展。按照动力模式的不同，eVTOL 可分为全电动、混合动力两大类。全电动类别包括锂电池、氢燃料电池、太阳能电池三种，混合动力类别包括锂电池+氢燃料电池、锂电池+燃油两种。

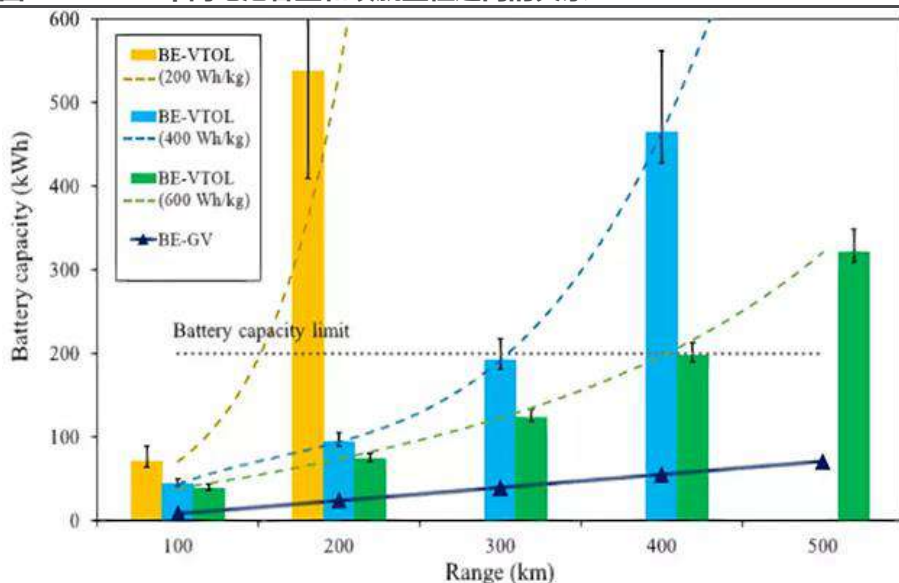
电池里有两项关键指标与 eVTOL 综合性能密切相关，一是能量密度，二是功率密度。相对而言，电池功率密度（即单位质量电池的放电功率）是 eVTOL 更为关键的性能指标，决定了其是否可以安全起飞和着陆；另一方面，能量密度（电池平均质量所释放出的电能）一定程度上决定了 eVTOL 的航程范围，目前 300Wh/Kg 的能量密度可以维持 200~300 公里的航程。根据亿航智能公司官网信息，一般情况下，电池重量约占自动驾驶飞行器空重的 1/3，那么如何提高能量密度、减少电池重量则成为关键。以亿航智能 EH216-S 为例，其最大起飞重量为 620kg，最大载客 2 人（不超过 220Kg），粗略计算其配备的电池重量约为 133kg，如果现有的电池能量密度能提升一倍，理论上其载客量还可增加 1 人。

图8：亿航智能 EH216-S 整体参数



资料来源：亿航智能公司官网，民生证券研究院

图9: eVTOL 不同电池容量和续航里程之间的关系



资料来源: 北深资本, 民生证券研究院

**电池能量密度方面**, eVTOL 垂直起飞阶段所需的动力是地面行驶的 10~15 倍, 商用门槛高达 400Wh/kg, 且未来能量密度要求还会达到 1000Wh/kg, 远高于当前车用电池的能量密度。目前国内 eVTOL 使用的电池能量密度最高已达到 285Wh/kg。2023 年 4 月, 宁德时代宣布与中国商飞等企业合作, 发布了凝聚态电池, 能量密度最高可达 500Wh/kg, 兼具高比能和高安全的特性; 此外, 宁德时代也在进行民用电动载人飞机项目的合作开发, 执行航空级的标准与测试, 满足相关安全与质量要求, 还将推出凝聚态电池的车规级应用版本。

**充放电倍率方面**, eVTOL 的整个飞行过程需要经历起飞、巡航、悬停等多个阶段, 其中起降环节要求电池的瞬间充放电倍率在 5C 以上。目前, 业界提高电池能量密度的方式主要是采用固态或半固态的技术路径, 但在带来更高能量密度的同时, 也将带来更大的电池膨胀、表面压力以及安全性的风险, 相关技术仍需要不端研究和完善。

图10: eVTOL 对电池性能要求及未来发展规划 (左图)、电池充放电倍率与充放电时间的关系 (右图)

指标	参数	充放电倍率	额定容量	计算公式	电流	充放电时间
能量密度	目前已达到285Wh/kg, 2030年目标为500Wh/kg, 2040年目标1000Wh/kg	10C	100 Ah	10*100A	1000A	6mins
		5C	100 Ah	5*100A	500A	12mins
		3C	100 Ah	3*100A	300A	20mins
功率密度	2030年目标为1.25kW/kg, 2040年目标2.5kW/kg	2C	100 Ah	2*100A	200A	30mins
		1C	100 Ah	1*100A	100A	1 hour
		C/2	100 Ah	100A/2	50A	2 hours
倍率	>=5C	C/3	100 Ah	100A/3	30A	3 hours
循环次数	>=10000次	C/5	100 Ah	100A/5	20A	5 hours
		C/10	100 Ah	100A/10	10A	10 hours

资料来源: 《通用航空装备创新应用实施方案 (2024-2030 年)》, 环球零碳研究中心, 民生证券研究院

国家支持航空器动力系统系列化发展，强调以电动化为主攻方向，兼顾混合动力等多种模式。2024年3月27日，工信部、民航局等四部门印发《通用航空装备创新应用实施方案（2024-2030年）》，提出：

1) 以电动化为主攻方向，兼顾混合动力、氢动力、可持续燃料动力等技术路线，加快航空电推进技术突破和升级，开展高效储能、能量控制与管理、减排降噪等关键技术攻关。

2) 强化装备安全技术攻关，重点突破电池失效管理、坠落安全、数据链安全等技术，提升空域保持能力和可靠被监视能力<sup>3</sup>。

3) 加速通用航空动力产品系列化发展，加快 200kW 级/1000kW 级涡轴，1000kW 级涡桨等发动机研制；持续推动 100~200 马力活塞发动机批量交付，实现市场规模应用。

4) 加快布局新能源通用航空动力技术和装备，推动 400Wh/kg 级航空锂电池产品投入量产，实现 500Wh/kg 级航空锂电池产品应用验证；开展 400kW 以下混合推进系统研制；推进 250kW 及以下航空电机及驱动系统规模化量产，以及 500kW 级产品应用验证。虽然目前电池技术、新型结构设计仍面临诸多挑战，包括也存在电池持续高倍率放电能力、稳定性和安全性等尚未得到长周期验证的问题。但我们相信，未来在相关科技企业不断深入研究和试验探索，以及国家政策的有力支持下，航空器动力系统的研发或有望加速实现突破。

<sup>3</sup> [https://www.miit.gov.cn/zwgk/zcwj/wjfb/tz/art/2024/art\\_4ce8d09c15ee4fb1aefc3d5dfbbb6584.html](https://www.miit.gov.cn/zwgk/zcwj/wjfb/tz/art/2024/art_4ce8d09c15ee4fb1aefc3d5dfbbb6584.html)

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/357055015154006113>