

《计测技术》学刊独家专访

吴希明



倾心奉献航空工业 殚精竭虑利国利民

——记全国政协委员吴希明关于低空经济和低空产业的发展思考

吴希明，第十三、十四届全国政协委员，中国航空工业集团公司首席技术专家，先后担任直8、直9、直11等直升机型号副总设计师，直10、直19武装直升机等国家重大工程型号总设计师，曾荣获国家科技进步一等奖1项，国防科技进步特等，一、二等奖多项；中共中央、国务院、中央军委“高技术武器装备发展建设重大贡献奖（金奖）”“国防科技工业杰出人才奖”“航空航天月桂技术先锋奖”“冯如航空科技精英奖”“何梁何力科学与技术进步奖”“全国劳动模范”“全国优秀科技工作者”等多项荣誉。

2024年全国两会期间，吴希明提出“设立低空产业装备发展国家重大专项，推动低空经济高质量发展”的提案。至2025年，他再度聚焦低空经济领域，提出了“关于加快推动低空装备无人化、电动化、智能化发展的建议”的提案。“低空经济”两次被写入政府工作报告。《计测技术》学刊就这两个提案实施之后能带来什么、目前技术层面还有哪些需要克服的关键点、计量测试在低空经济中应发挥的作用等问题，对吴希明委员进行了深度访谈。

去年，提出“设立低空产业装备发展国家重大专项，推动低空经济高质量发展”的提案，核心内容是建议设立低空产业装备发展国家重大专项，明确低空产业装备的战略地位，牵引形成合力；迭代发布行业级标准规范，高效推进基础设施建设，构建“以我为主”的产供体系；央地合作打造低空经济示范合作项目，推进低空经济与其他产业融合发展，提质增效全面推动低空经济高质量发展。

今年提出“关于加快推动低空装备无人化、电

动化、智能化发展的建议”的提案，核心内容是建议锚定无人化、电动化、智能化方向，加速低空装备关键技术攻关；规范低空装备设计、制造、运行等全方位适航要求，加快推进低空装备适航标准发展；加快健全运营服务体系，支撑低空装备高效运营；大力拓展应用场景，打造新质低空装备示范应用项目。提案还强调了攻克复杂环境自主飞行、智能集群作业等核心技术的实现对未来海量飞行器无人/简单驾驶、智慧城市管控飞行的重要性，建议需针对我国不同区域发展特点覆盖性地选择典型代表地区或城市示范验证并完善后满足全国低空经济不同特色的拓展和全面建立。



2023年3月，吴希明参加全国政协十四届一次会议

这两个提案，都是我和团队长期探究通用航空发展和近期在低空经济论证中形成的认识，也是对低空经济主要工作顺利实施的期盼。

今年两会收到的提案数量比去年有所精简，但涉及科技的提案今年有2126项、去年有2050项，科技创新相关提案今年有875项、去年有993项，低空经济相关提案今年有116项、去年有36项，通用航空相关提案今年有34项、去年有24项。涉及航空的提案今年有260项，去年有241项。可以看出，在低空经济的影响下，全国对航空的关注度大为提升。

我是第十三届和第十四届两届政协委员了，之前，我每年基本都会提出推进航空应急救援和通用航

空的相关提案。在调研撰写通用航空相关提案的过程中，我深刻感受到国家对通用航空的高度重视，各种政策、规划和行动纲要指南都相当齐全，但相应发展一直不如期盼。为从新的视角促进中国通用航空发展，学术届于2009年首次提出“低空经济”的概念术语，但其定义一直在确定统一中。直至2021年，国务院印发了《国家综合立体交通网规划纲要》，“低空经济”以推进国家交通网建设为目的被首次写入国家规划。到2023年12月，中央经济工作会议明确低空经济为国家战略新兴产业，服务于国家经济发展。2024年，低空经济被首次写入政府工作报告，报告明确了要积极打造低空经济等新增长引擎——低空经济成为国家建设的重大工作项目。2025年，政府工作报告明确指出，要开展新技术新产品新场景大规模应用示范行动，推动商业航天、低空经济等新兴产业安全健康发展。我们可以看到两次政府工作报告中的要求有所差别，我个人理解2025年国家在低空经济工作方面的要求是更进一步体系化推进，做到安全健康发展。

这些内容恰好是您提案中的重点建议内容。根据党中央和国务院精神，以及最新的政府工作报告动向，能谈一下您对低空经济发展的最新思考吗？计量测试在低空经济中应发挥的作用是什么？

很高兴这些是我两个提案中的重点建议内容。下面，主要谈我们做的一些工作和我们的认识。这些认识可能与目前社会的认识有所不同，希望为促进低空经济高质量发展提供参考，也为低空经济中计量、测量工作的思考角度和研究方向提供借鉴。

低空经济这个术语仅在我国范围内存在和应用，是中国特色社会主义制度下，世界独有的推进国家经济和发展的战略工作之一。我们知道航空工业是世界各大国、强国最重要的工业领域之一，除了国

防必须，对一个国家的经济发展和社会建设至关重要。相应产业具有投入大、行业本身规模不大，但对社会整体的产出带动作用巨大且长久产出的特征。这使得作为航空工业重要组成部分的低空经济必须全国体系化发展。目前，全国各地已积极响应，但是思路和安排基本同质同模，不及时优化调整未来可能付出沉重代价。

国外并没有低空经济这一提法，但低空经济相关航空要素工作都在持续进行。

航空研究院是国际航空研究理事会 (international Forum for Aviation Research, IFAR) 代表中国的成员单位，我作为其 principle，2023 年 10 月参加了理事会在意大利举办的为期 5 天的关于绿色、先进和城市航空主题的年会。关于未来先进空中交通和城市交通，会议认为，未来的低空应该如科幻世界一样，有成千上万的各种飞行器在行驰。大家认为电动垂直起降 (electric Vertical Take-off and Landing Aircraft, eVTOL) 航空器等飞行器应在 2024 年巴黎奥运会开展全尺寸样机商业用途演示飞行，在 2030 年前后完成低密度空域下的商业运营，到 2040 年前后实现可持续商业运营。然而，这些观点和我国目前的认识差异不小。尽管这些观点已经很保守了，但是 2024



国际航空研究理事会 (International Forum for Aviation Research, IFAR) 是目前世界上唯一由各国国家级航空科研机构组成的国际组织，一国只有一个会员名额。中国工程院 (Chinese Academy of Engineering, CAE) 是 IFAR 创始成员之一及中国代表机构。截止目前，IFAR 正式会员数量已扩展到 26 个，涵盖了全球六大洲的主要航空国家的国家级科研机构及其所代表的 3 万 4 千余位航空科研从业人员。

年巴黎奥运会 Volocopter (电动私人直升机) 的演示目标最终也没有实现。

与此同时，大会各成员单位汇报并交流了之前一年对城市空中交通影响要素及其状况和发展的研究，列出了 30 多个关键要素，最关键的有飞行器整体架构，推进与能源，自治能力，空域整合与无人机系统交通管理，安全管理系统，基础设施，信息安全，通信、导航和监视，气象风险管控等等，与会各方对各项要素均达成共识，但同时也认识到仍有很多工作需进行。这与我国此前在相关认识上表现出较为激进的态度形成鲜明对比，彼时虽有积极探索，但细节层面深思不足。令人欣慰的是，近期我国在这一认识上有所改善。



吴希明在景德镇昌河总装厂试飞站与直 10 合影

目前，eVTOL 航空器有超过 1 000 种的构型，但大多数都是轻量级的。理论上，越轻的飞行器、越大的旋翼总面积，垂直起飞单位重量需要功率越小，研制余地越大。这些轻量级飞行器飞得也不错，但未必是符合未来严酷市场竞争的合理构型，需要对该种飞行器技术形成清晰的认知，指引其正确的研发方向和产品体系发展。

我利用作为直 8 和直 11 直升机型号总体总师期间积累的型号数据，对这两型直升机电动化前后的性能进行了对比。这两型直升机起飞重量分别是 13 t (13 000 kg) 和 2 t (2 000 kg)，它们的机内燃油分别为 3 t (3 000 kg) 和 400 多公斤，且均具备任务飞行 4 h 的能力。对应各飞行状态功率和时间累积需要的功除以飞行总时间，结果表明：燃油有效飞行功率是 3 kW/kg 左右。当然，燃油热能为 12 000 Wh/kg，经过发动机燃烧后，实际机上应用就这么多。但大家知道，目前电池组能量水平仅 200 Wh/kg，即使按 250 Wh/kg 来对应直升机 4 h 的飞行需求，所需电池重量将分别超过 33 t (33 000 kg) 和 4 t (4 000 kg)，或同重量能源只能任务飞行大概 20 min。这也是我们在网上看到的 eVTOL 航空器任务飞行 20 min 的报道。也有说飞行 1 h，但这些报道没说是否有任务载荷，以及任务载荷的具体重量。我们也在努力研发更重更长航时的飞行器，但发现在现有电池水平下，超过 2.5 t (2 500 kg) 后，有效载荷反而逐步下降。这也是近期各 eVTOL 航空器极限基本也是这一水平的原因。在技术没有创新突破的情况下，大家公认电池技术的能量密度极限在 700~800 Wh/kg，而电池组的能量密度需乘以 0.6 或 0.7，大概 500 Wh/kg。对应 eVTOL 航空器合理起飞重量应该在 4 t (4 000 kg) 之下，

这是 eVTOL 航器可能的极限。所以直升机不会被 eVTOL 航空器取代。假设如美国技术评论所说的 远距无线能源传输技术可以实现，这些应该就不是问题了。

除了性能外，eVTOL 航空器成功的核心还有其他方面。如目前大家公认的噪音低，eVTOL 航空器 60~70 dB 的噪音相对直升机超过 100 dB 的噪音要好，但当城市天空有几百几千甚至几万 eVTOL 航空器在低空飞行时，这样的噪音水平也是不可接受的，也许最终我们需要把噪音控制在 40、50 dB 左右，这就有很多工作要做。

目前，大家关注的另一个核心问题是成本，以最先进的美国 Joby——eVTOL 航空器为例，其目标是将成本降到同类直升机的 20% 左右。

Joby 是一家总部位于加利福尼亚州的纯电动垂直起降飞机制造商，成立于 2009 年，并于 2021 年 8 月通过与特殊目的公司 (SPAC) Reinvent Technology Partners 合并成功在纽交所上市。该公司在过去十余年的时间里设计并制造了一种纯电动直升机，可以像传统飞机一样巡航，但是更安静，从头顶飞过时几乎没有声音。飞机可同时搭载一名飞行员和四名乘客，最高时速为 200 英里 (约合 322 公里/小时)，充电一次的最大航程为 150 英里 (约合 241 公里)。



Joby 的 eVTOL—五座六轴



2021年12月，由航空工业指导、中国航空研究院主办的航空科技创新论坛在京举办，吴希明做“直升机关键技术发展”报告

我国网上都在说，eVTOL 航空器成本只有直升机成本的 1 / 10，我们认为这说的不公平，这些预测是未来 eVTOL 航空器和之前研制、现在使用的直升机对比。实际直升机和 eVTOL 航空器核心差别在于动力传动和旋翼，这部分只占直升机的 40% 左右，其他 eVTOL 航空器技术在极致化后也能应用于直升机，所以同任务能力下，两者单机成本也就差 20% 左右。使用成本也常拿燃油成本和电能成本对比，但 2 t (2 000 kg) 直升机全生命周期成本是每飞行小时 2 万元左右，其中燃油成本才 1 000 元，所以，通过燃油改电能使成本大幅下降是不对的，需结合其他使用要素来降低成本。

我们认为低空经济工作的核心是促进创新和为社会创造前所未有的价值。对于国防装备而言，其重要性不用说。我们认为航空产业的价值不仅仅是向社会提供飞行器，其最终社会价值是通过飞行器产出各种最终高价值。飞行器可以应急救援，可以观光旅游，但其中最主要且长期使用的是运输和交通，对应的最终产出是比其他交通工具更快捷进而节省出的时间（时间价值的提升是社会进步和现代化的主要标志之一）。目前，民用飞行器在成本和时间价值的对比上仍只能使部分社会高时间价值群体

受益。低空经济的提早提出，是我国社会进步、经济发展的结果，同时也将促进创新、降成本，并促进社会现代化进程及其时间价值的提升。

同时，我们认为低空经济不仅仅是大家关注的飞行器制造，也不仅仅是航空产业链及各种应用场景建设。大量空中飞行器的运行需要大量的空地全体系信息安全传递、精准全面掌握、高效管控，这需各行业按照空中安全飞行的高标准同步推进智慧城市和区域建设。只有实现这一点，城市、地区乃至国家才是现代化的城市、地区和国家。除了低空产业本身的经济价值大幅提升，其他行业和整个社会也会因之获得大幅经济提升。

我是航空工业低空经济提案的政协委员提出人，在工信部、发改委等低空经济提案工作推进交流中，我一直用这套嗑，希望获得国家的进一步支持，在各地调研交流时，我也反复强调大家要长远规划、带着明确目标去推动协调发展。

总的说来，我希望大家核心的认识是：低空经济是应用飞行器开发低空区域，并配套发展地面相关产业，以带来整个社会的进步和现代化，并对应形成区域和国家经济的提升和发展。在这里，现代化是目标，经济是产出。按这个说法才可能更好地策划和推进各项工作。在短期内，一些投入和产出也是低空经济实现的保证，其中，安全是重要因素，适航局不会、也没有权利降低任何安全要求。我和空客城市空中交通中心主任交流时，对方提供的 eVTOL 航空器适航分析说明显示：欧洲要求机上系统影响安全的故障率小于 10^{-9} ，而美国虽然要求该故障率可以大于 10^{-9} ，但有其他措施结合来达到安全要求。我以亿航 216 说明中国是空中、地面和使用限制相结合的方式来满足这一安全要求。这也意味着中国低空经济必须空地全体系发展，未来，不仅飞

飞行器需适航取证，智慧城市也得适航取证。

2024年11月珠海航展期间，我在航空、航天和电信等八个央企和部分高校、地方联合举办的低空经济创新联合体启动大会上，汇报了低空经济整个联合体的工作思路，我建议低空经济目前重点放在全国体系化协同工作战略和实施方案制定上，其中包括所陈述的60多个工作项，涉及产品、技术、空地体系建立等；陈述了需建立各种典型示范应用区去引导、验证和完善各项工作，建立低空经济相关全体系性纲要、制度和规范标准，指导推进全国低空经济的实现和航空工业等行业的发展。



2024年12月，吴希明在全国航空与相关学科建设论坛做“低空经济和低空产业发展”报告

最后，回到飞行器。我们知道飞行器从研发到成熟使用要10年左右，很多产业和产品可以短期内暴露问题，然后自行修正（这就是市场经济），但大投入、远产出和回报的行业和产品必须正确规划、协调发展（我认为这必须是国家行为）。我认为eVTOL航空器等的研发，必须充分正确想定未来社会运行场景，准确把握未来使用需求和技术要求，考虑相关影响要素的可能发展。这些工作是地方政府和一些民营企业难以做到的。

概括地说，低空经济工作有关要点包括运行概念、正确高效场景构型、降噪避噪、舒适性、低成本、简易使用维护保障、城市大气环境感知、复杂大气下气动设计与飞行控制、坠毁安全、电磁干扰安全、自主起降与飞行/智能感知避障、高效电动、安全的通讯/监视/防护/控制、通导监一体化智能网联平台、海量智慧处理管理、与汽车等其他产业互促发展。我们还需确定构型，未来是空中出租车模式还是家庭持有出行模式，这会导致低空经济体系的发展大为不同，结构是为轻小领域发展而构型设计，还是功能设计、强度设计，亦或是大众使用的低成本、耐糙、简易维修设计制造，包括大量使用后，机上简易驾驶、任务系统综合到地面智慧城市统一管控，这也会很好地降低单机成本。这些都是我们后续必须考虑的。当然，于此创新发展的同时，常规直升机等其他航空产品也需协同助力同步发展，航空产业不仅仅需要eVTOL航空器，也需要其他飞行器。

这些观点不一定对，供批评指正。谢谢。

专访手记

访谈结束，我问了吴希明老师未来有什么规划和愿望，他随即笑着回答，希望在接下来的工作中，切实将低空经济和低空产业落地。

吴希明主持设计的中国第一款专用武装直升机直10被认为是世界上最具战斗力的武装直升机之一，将中国直升机技术向前推进了20年。如今他为低空经济和低空产业凝心聚力、深思远虑。

无论是科技报国还是产业报国，亦或者为国规划布局，在吴希明老师身上，我看到了全心全意献身事业的精神，这让我肃然起敬！

（采编 韩冰）