

序

沈向洋

光阴如梭，转眼我们已经到了 2023 年底。我们在探索低空经济发展的路上，又砥砺前行了一年。

一年来，我们目睹和经历了低空经济领域很多鼓舞人心的进展。

宏观上，低空经济从我们去年白皮书提出的“将自然资源转化为经济资源”，升华为“新质生产力”的代表，是可以引领发展的具有巨大潜力的战略性未来产业。

法规上，期盼已久的《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》的颁布，为低空经济相关产业持续健康发展提供了有力法治保障。

技术上，亿航 EH216-S 载人无人驾驶航空器系统型号合格证（简称 TC）的颁发，标志着世界上首个载人电动垂直起降无人机（eVTOL）型号已获得 TC 适航型号认证许可，安全有保障的载人无人机技术已日趋成熟。

微观上，各地政府纷纷启动低空经济发展政策，推动低空经济应用场景、产业生态和基础设施建设。低空经济相关论坛和展会渐入佳境，协会和联盟层出不穷，低空经济相关产业如雨后春笋，逐渐繁荣起来。

这一切现象表明低空经济发展的大潮滚滚而来、势不可挡。发展低空经济也是自然规律、科学规律和经济规律发展到今天的必然结果。

在改革的前沿阵地、先行先试的示范区—深圳，我们正与众多的政府部门、科研机构和科创企业一起探索低空经济快速发展之路。我们希望深圳经验能为全国乃至全球低空经济的发展开辟一条创新发展之路。

在我们的实践中，我们也发现人们对发展低空经济的理解参差不齐，甚至有些偏差。为此，我们计划发布低空经济发展的系列白皮书，帮助人们正确认识低空经济发展的方方面面，正本清源，协同各方一起凝力将低空经济沿着正确的方向推进。

在去年发布的白皮书《低空经济发展白皮书—深圳方案》的基础上，我们今年将聚焦分享低空经济基础设施的核心技术—智能融合低空系统 SILAS，发布《低空经济发展白皮书（2.0）—全数字化方案》。全数字化的 SILAS 系统代表着新一代空域和飞行管理框架和技术，是对传统基于航路框架的颠覆。SILAS 系统是个平台，是个操作系统，而不是简单的服务一个部门或者场景的 APP。在白皮书 2.0 中，我们全面分析了全数字化系统的必要性和紧迫性，介绍了其中的主要组成部分，拓展了其对低空经济发展赋能的范围。同时指出了建设 SILAS 系统不能一蹴而就，而必须按照客观规律踏踏实实地逐步迭代和完善。

全数字化方案不仅是一个技术架构的突破，而且更是一个思维范式的转变。以数字化的思维去考虑低空经济的问题，会豁然开朗，再难的问题也可分解成全数字化系统的一个个子问题去解决。

希望白皮书 2.0 的发布能给低空经济从业者、研究者、建设者、管理者、监管者和政府有关部门提供低空经济发展的一些新思路、新认知和新路径。

低空经济是个新生事物，是个具有巨大潜力的新业态，也是可以带动未来经济全面发展的新质生产力。低空经济是开创性的，无前人的经验可循，SILAS 的研发也无其他类似系统可以借鉴。低空经济前进的道路上也充满了不确定性。

道路虽曲折，前途恰光明。我们坚信发展低空经济将是一个能改变人类历史的伟大事业！我们希望社会各界能对低空经济发展多一些鼓励、多一些耐心、多一些包容、多一些支持。我们期望更多的有志之士能和我们一起投入到低空经济建设的大潮中，精诚合作，鼎力支持，紧抓百年一遇低空新机遇，创建万亿规模经济新形态！

2023 年 11 月 22 日

于深圳

摘要

《低空经济发展白皮书（2.0）—全数字化方案》在去年发布的《低空经济发展白皮书—深圳方案》（白皮书 1.0）的基础上，聚焦阐述一个颠覆性的低空空域和飞行管理的全数字化框架，打造低空经济领域的类似“IP 交换”新的系统设计和服务范式。

白皮书 2.0 首先回顾了白皮书 1.0 的内容，总结了自白皮书 1.0 发布以来，低空经济在价值认知、政策法规、产业应用、飞行器技术、基础设施等方面的新进展，汇报了深圳的低空智能融合基础设施的建设情况，强调了低空经济正在成为可以起到带动经济发展的新质生产力。

白皮书 2.0 分享了我们对于低空经济新的认知和理解，尤其是对 SILAS 系统的认知提升。首先，SILAS 系统必须是一个赋能平台，必须是一个操作系统。这是由低空经济众多的关联主体、多样的管理和业务形态所决定的。人们可以利用其提供的能力，搭建无穷无尽的应用，服务众多的管理主体、运营企业、商业模式等。其次，SILAS 系统必须是一个全数字化系统，对低空飞行和低空空域进行精细化管理，保证低空经济的安全、高效和低成本，这是低空经济能规模化发展的前提。

白皮书总结了一个全数字化低空系统必须具有的全空域、全因素、全数字、全兼容、全流程、全开放等特性。SILAS 系统必须建立在一个开放的、可进化、全兼容的系统框架上，以保证 SILAS 系统能够很容易地适应低空空域和法规的变化、适应关联主体管理和业务需求的变化、适应科技发展和技术进步带来的智能水平的提升。

白皮书简要介绍了数据驱动的全数字化 SILAS 系统框架，明确了系统的数据流向以及整个系统关键模块的主要功能，阐述了 SILAS 系统与传统基于航路的空域管理和飞行管理的本质区别，解释了 SILAS 操作系统内核如何来管理和调度时空资源和时空进程，在保证飞行安全的前提下，最大化提升可使用空域的运行效率。这些创新性的技术，代表了低空经济未来的发展方向和目标。同时，SILAS 系统还依托最新的人工智能技术，建立了人与机器之间超越传统人机界面的新交互方式，着重点放在对宏观态势的感知和

微观操作的指派。

最后，白皮书提出了切合实际的建设低空智能融合基础设施的实施方案，既不盲目冒进，又不固步自封。以科学严谨的态度、按步骤照规划地实施低空智能融合基础设施的建设，稳中求进。对于关乎低空飞行安全的系统，必须付出比传统信息和智能系统多倍的努力，保证系统万无一失。

目录

序.....	i
摘要.....	iii
目录.....	v
1 低空经济的进展.....	1
1.1 引言	1
1.2 白皮书 1.0 回顾	1
1.3 低空经济的前景价值	3
1.4 低空经济发展要素的进展	6
1.4.1 政策与法规制定.....	6
1.4.2 应用与产业发展.....	10
1.4.3 飞行器进步.....	12
1.4.4 基础设施建设.....	14
1.5 小结	19
2 低空经济认知的深化.....	21
2.1 低空智能融合基础设施的认知深化	21
2.1.1 设施网.....	23
2.1.2 空联网.....	24
2.1.3 航路网.....	24
2.1.4 服务网.....	25
2.1.5 精细化的 SILAS 系统.....	26
2.2 全数字化系统认知的深化	27
2.2.1 系统关键认知.....	28
2.2.2 系统赋能的业务.....	31
2.2.3 系统的特性.....	34
2.3 小结	36
3 全数字化方案 — SILAS 系统.....	37
3.1 SILAS 系统 — 低空“大脑”	37

目录

3.1.1 系统理念 -- “IP 交换”新框架	37
3.1.2 系统概述.....	39
3.2 技术与创新	41
3.2.1 基于时空资源与进程管理的 SILAS 操作系统与内核	42
3.2.2 智能仿真平台.....	43
3.2.3 宏观空域管理平台.....	44
3.2.4 微观飞行管理平台.....	46
3.2.5 低空语义理解平台.....	47
3.2.6 低空语言理解平台.....	48
3.2.7 虚拟空域平台.....	49
3.2.8 开放进化式架构.....	50
3.2.9 运行规则描述语言.....	52
3.2.10 数字空域和飞行管理的系列标准规则.....	53
3.3 实施方案	54
3.4 小结	57
4 总结与展望.....	59
致谢	61
编写组成员	62
参考文献	63

1 低空经济的进展

1.1 引言

自 2022 以来，低空经济在全国乃至世界范围内掀起了一波新热潮。各地政府、企业和研究机构都加大了对低空经济的政策支持、应用开发和技术研究，低空经济处在一个蓄势迸发并将进入快速发展的大好时期，谁抢占发展先机，谁就能在低空经济发展中占据有利地势，引领低空经济这个新的优质发展生产力、新的产业发展无人区、新的经济发展增长极和新的工作生活超范式。

为了进一步推动低空经济发展，粤港澳大湾区数字经济研究院于 2022 年 11 月 22 日，将自身对低空经济的理解和发展低空经济的理念和方法整理出《低空经济发展白皮书—深圳方案》，并向社会各界发布。一年以来，共向低空经济相关领域的专家、领导和从业者发放纸质和电子白皮书超过一千多份，为各界对低空经济发展提供了及时的参考资料，也受到了各界对我们无私奉献的广泛好评，对低空经济发展产生了一定的影响力。在第一版白皮书成功的鼓舞下，我们精心撰写了白皮书的第二版《低空经济发展白皮书 2.0—全数字化方案》。第二版除了总结一年多以来低空经济的进展以外，将聚焦分析数字化在低空经济中不可或缺的关键作用，分享我们对低空经济发展的全数字化方案的理解，和分解全数字化方案中的可能需要的关键模块，旨在为低空经济从业者了解低空经济全数字化方案所涉及的方方面面，也为低空经济中各方的协同合作建立一个完整的框架。

1.2 白皮书 1.0 回顾

为了承上启下，也为未有机会阅读我们第一版白皮书的读者简单回顾一下第一版的主要内容。

低空空域通常是指距正下方地平面垂直距离在 1000 米以内的空域，

根据不同地区特点和实际需要可延伸至 3000 米。低空经济是指依托于低空空域，以各种有人驾驶和无人驾驶航空器的低空飞行活动为牵引，辐射带动相关领域融合发展的综合性经济形态，广泛体现于各类产业形态之中，在促进经济发展、加强社会保障、服务国防事业等方面发挥着日益重要的作用。

低空经济不仅是一种依托低空空域发展的经济形态，还是未来十年的三维立体新交通、智慧城市新基建、数字经济新引擎，更是面向长远未来，以航空器为新一代智能终端，打造工作生活新范式，开拓万亿级蓝海产业的新起点。

低空空域是一个自古以来被忽视和未被充分利用的自然资源，低空空域蕴藏着可以和地面土地相比拟甚至可能远超土地价值的经济资源。发展低空经济，就是将低空空域这一自然资源转化成有价值的经济资源，广泛服务人类社会。

由于低空空域没有任何物理附着物，低空空域的开发必须依赖于数字化工具，将整个低空空域数字化成一个可计算空域，在数字空间里将低空空域变成一个可定标、可量化、可计算、可管理、可利用、可估值和可分享的经济资源，推动低空空域从“可通达”到“可计算”到“可运营”性质的转变。

自 2010 年以来，国家为推动低空经济发展先后颁布了一系列政策法规，并且还在不断的演进完善中。

飞行器的发展也远超人们的预期，低空飞行的主要飞行器形态是各种异构的载货或者载客无人机。无人机的安全性能已经极为成熟，效率在逐步提高，自主智能水平也得到大力提升，对人类社会的不良影响也逐年减小。通过备份系统和自动驾驶等先进技术，无人机飞行可望达到民航客机的安全标准。

低空经济发展的根本推动力是各种各样且不断增长的低空经济应用。这些低空应用在种类和规模上的不断发展，将不断提升低空经济的体量，不断实现和增加低空空域的价值。而规模化的低空经济又依赖于一套全数字化的低空管理系统，保证空管部门有科学工具和技术手段，有理有据、

风险可控地开放和管理空域，保证低空飞行安全有序，保证低空空域的高效利用，保证低空应用的运营成本的大幅降低。

深圳发挥敢为人先的精神，在国家先行先试的政策鼓励下，率先建设低空智能融合基础设施，打造低空基础设施的四张网：设施网、空联网、航路网和服务网，研发全数字化的智能融合低空系统（SILAS），为低空空域管理和低空运营提供数字化和智能化的技术工具，为低空经济各关联方提供各种各样的全数字化的智能管理手段和运营服务，为低空经济政策、法规和标准的制定提供强有力的数据依据，为政府和管理部门提供低空经济发展的基于实际大数据的决策支持，保证低空经济兼顾安全、效率和成本等各个方面的高质量发展。

经过一年的探索，我们对低空经济的认知进一步加深，对低空经济的重大意义进一步明确，对整个低空经济系统的考虑进一步完善，对发展低空经济的技术路线和系统方案进一步清晰。第二版低空经济发展白皮书将分享我们的新发现、新理解和新思路，同时聚焦阐述全数字化方案涉及的方方面面。

接下来，我们首先总结自去年第一版白皮书发布以来低空经济领域的一些新进展，其中包括对低空经济价值的进一步理解和发展低空经济的四个关键要素：政策、应用、飞行器和基础设施的最新动向。

1.3 低空经济的前景价值

“整合科技创新资源，引领发展战略性新兴产业和未来产业，加快形成新质生产力”是习近平总书记近期的重要论述，也指出了中国科技创新和产业发展的关键方向。低空经济的天然全数字化、丰富场景、多领域技术融合、绿色环保的特点，以及其引领产业升级构筑新竞争优势的潜力，

符合战略性新兴产业的定义，是典型的“新质生产力”的代表。

低空经济作为战略性新兴产业发展的一条新赛道，是全球主要经济体竞相角逐的新领域，被美国喻为“不能输掉的一场比赛”。低空经济上下游链条长、服务领域广、带动作用强，将撬动低空制造、低空飞行、低空保障和综合服务领域高速增长。

低空经济具有广泛的前景价值：

- **从产业角度看，低空经济是一条具有高度延展性的全新产业链。**具有全局性、战略性、外溢性特征，有很强的产业带动作用。低空经济具有天生的数字经济基因，可以充分享受信息化、网络化、数字化、智能化技术发展带来的红利，将实体经济与数字经济完美融合在一起，进而触及到社会生产、生活更广更深的层面，全面带动国民经济发展，更好地满足社会经济活动的需要。抢抓低空发展机遇，将打造一个包括低空制造、低空飞行、低空保障和综合服务的超万亿级全新产业链。
- **从需求角度看，能够以新的消费需求创设助推消费升级。**消费对拉动经济增长具有基础性作用，恢复和扩大消费是做好当前和今后一个时期经济工作的重要抓手。近年来，无人机催生了一系列新的消费场景，包括利用无人机解决“最后一公里”的配送难点，采用“支线级”无人机提升运输效率，引入基于 eVTOL 的“空中的士”打造城市交通新方式，开发景区“空中游览”带来旅行新体验，无人机与安防融合发展助力智慧城市建设等，低空消费活力、投资价值逐步得到进一步释放。低空经济所特有的点对点、地域限制小、经济成本低、运行效率高等优势，必将带来更多新场景、新应用、新服务和新业态，通过创

“低空经济的天然全数字化、丰富场景、多领域技术融合、绿色环保的特点，以及其引领产业升级构筑新竞争优势的潜力，符合战略性新兴产业的定义，是典型的“新质生产力”的代表。”

设新的消费需求，持续推动消费升级。据罗兰贝格研究预测，到 2040 年和 2050 年，全球城市空中交通市场规模将分别达到 7 万亿美元和 9 万亿美元，中国市场需求强，将分别占据全球 30%、亚太 55% 的市场份额。

- **从投资角度看，低空基础设施建设将带动有效投资。**当前，伴随着投资拉动经济增长的边际效用递减，传统基建投资面临增长瓶颈，加快新型基础设施建设正成为扩大有效投资的重要选项。低空经济作为面向未来发展的全新领域，拥有广阔的应用前景，蕴含着巨大的投资价值，投资项目的回报率较高。据专家预测，到“十四五”末，我国低空经济对国民经济的综合贡献值将达到 3-5 万亿元。
- **从要素角度看，探索创设空域使用权能够促进低空空域从自然资源向经济资源转变。**这是发展低空经济最核心、最有价值的方向。低空空域作为一个远没被开发的自然资源，一片尚未被探索的无人区，蕴藏着甚至超过土地资源的巨大的经济价值。如果以数字化的手段创建可计算的空域，推动低空空域转化为可量化、可定标、可分层、可利用、可权益化、可资本化的经济资源，创设一个类似“土地使用权”的“空域使用权”的新型生产要素，对低空空域进行深度确权、开发、流转和利用，将产生巨大的经济价值和社会价值，源源不断为新经济的发展注入强劲动力。
- **从管理角度看，建设精细化智能低空基础设施有助于低空空域的有效管控。**从我国目前低空空域的飞行现状来看，小型直升飞机、通用航空、私人航空以及多种飞行器都在该空域内完成飞行活动，警务、救援、急救、农业、工业、旅游观光等行业应用也在同一空域活动，低空空域飞行活动的复杂性与日俱增，低空空域的航空管制压力随之增大，传统空管规则和设施难以保障飞行活动的安全性。如何对低空空域进行有效管控，防止其对人们生产生活及社会公共安全带来危害，成为当前必须妥善解决的一个重要课题。建设低空经济智能融合基础设施，为空管部门提供一整套可精细化管控空域的科技工具，为运营企业提供安全、可靠、高效的支撑规模化低空活动的智能服务，实现监管方、产业方、运营方和管理方的多方协同，有利于在安全可控

的前提下，实现低空经济规模化、可持续、高质量的快速发展。

- **从标准的角度看，有利于我国率先在低空经济领域创设新的领先的国际标准和规则。**当今世界，标准作为国际规则的重要组成部分，作为竞争的重要手段，日益成为各国博弈的焦点。至今为止，国际上对发展低空经济的方法还大多停留着对商业航空和通用航空标准和规则的扩展，而我们从低空智能融合基础设施的建设出发，用全数字化的方法解决低空经济中面临的种种新问题，同时兼容传统的规则，已经在国际上处在技术领先地位。发达国家对基础设施建设投入不足，恰恰是我国领先的优势之一，也是我国在低空经济领域有希望能改变百年依赖国外规则和标准的局面的一个重大机遇。用过去电信行业的交换机作为一个比喻可以形象地说明此事，当其他人刚刚要从“电路交换”转到“程控交换”的时候，我们直接跳到了“IP 交换”。面对国际上低空领域“竞标争先”的态势，大力发展低空智能融合基础设施，借助全数字化和数据优势，加速制定与低空经济相关的产品、人员、运行、责任、权利、登记、环境、安保、保险等方面的规则及标准，将有利于掌握行业发展主动权，为我国在全球的科技角力中赢得先机。

1.4 低空经济发展要素的进展

低空经济发展中，有四个关键要素：政策、应用、飞行器和基础设施。政策为低空经济发展提供方向、指导和规范，缺乏政策的支持和法规的保驾护航，将使低空经济难以腾飞。应用是低空经济的核心，是其规模化发展的关键，与人们的工作和生活新范式密切相关。飞行器是低空经济中的运营主角，是低空经济各种业务的载体。基础设施则是支撑低空飞行的基石，也是确保低空经济安全、高效率和高效益发展的技术基础。以下我们对自去年第一版白皮书发布以来，低空经济发展要素的进展做一简单的总结。

1.4.1 政策与法规制定

近年来，欧美发达国家加快了低空领域的规则和标准的出台。美国先

后发布了《先进空中交通（AAM）协调及领导法案》《先进空中交通基础设施现代化（AAIM）法案》等十几项法案政策，欧盟发布了《2022 年管理计划：机动性与运输战略》《无人机战略 2.0》等十几项战略指南。欧美 20 多个城市积极布局 AAM（先进空中交通），推动低空创新和区域合作，针对各类低空无人机和飞行器的适航认证、生产标准、飞行管理等，推出系列政策指南，以更好地适应各类新形态的飞行器的运行和使用。

在国家层面，过去一年最显著的政策和法规发布可能是 2023 年 5 月 31 日由国务院、中央军委公布的《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》（自 2024 年 1 月 1 日起施行）。《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》的正式发布可以说，标志着无人机进入元年，是低空经济发展的重要里程碑。

《条例》规范了无人驾驶航空器飞行以及有关活动，在促进无人驾驶航空器产业健康有序发展，维护航空安全、公共安全、国家安全等做出了规定。《条例》明确指出，国家鼓励无人驾驶航空器科研创新及其成果的推广应用，促进无人驾驶航空器与大数据、人工智能等新技术融合创新，并要求地方提供支持。

《条例》贯彻总体国家安全观，统筹发展和安全，坚持底线思维和系统观念，以维护航空安全、公共安全、国家安全为核心，以完善无人驾驶航空器监管规则为重点，对无人驾驶航空器从设计生产到运行使用进行全链条管理，着力构建科学、规范、高效的无人驾驶航空器飞行及相关活动管理制度体系，为防范化解无人驾驶航空器安全风险、助推相关产业持续健康发展提供有力法治保障。

《条例》共六章六十三条。主要按照分类管理思路，加强对无人驾驶航空器设计、生产、维修、组装等的适航管理和质量管控，建立产品识别

2023 年 5 月 31 日《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》的正式发布可以说，标志着无人机进入元年，是低空经济发展的重要里程碑。

码和所有者实名登记制度，明确使用单位和操控人员资质要求；严格飞行活动管理，划设无人驾驶航空器飞行管制空域和适飞空域，建立飞行活动申请制度，明确飞行活动规范；强化监督管理和应急处置，健全一体化综合监管服务平台，落实应急处置责任，完善应急处置措施。

2023年11月初，国家空中交通管理委员会办公室通过中国民用航空局，先后发布了《中华人民共和国空域管理条例（征求意见稿）》和《关于明确〈无人驾驶航空器飞行管理暂行条例〉空中交通管理有关事项的通知（征求意见稿）》等两个重要文件。前者是为了加强和规范空域资源管理，维护国家安全、公共安全和航空安全，促进经济社会发展和国防军队建设而起草的空域管理法。后者为进一步规范无人驾驶航空器空中交通管理有关事项，依据《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》而起草的关于无人机空中交通管理的具体细则。

这些法律法规的出台和起草，标志着科学、规范、高效的无人驾驶航空器飞行及相关活动管理制度体系初步构建成型，将为防范化解无人驾驶航空器安全风险、助推相关产业持续健康发展提供有力法治保障，对发展低空经济是特别利好的消息。

在低空经济领域领跑全国的深圳，更是按照系统谋划、整体推进原则，构建“1+1+1+N”工作体系，

- （1） **组建了深圳市低空经济发展工作领导小组。**由常务副市长任组长，高位统筹推动全市低空经济工作；
- （2） **健全了军地民常态化沟通机制。**贯彻军民融合发展战略，加强与国家空域管理、民航管理、发展改革部门沟通，争取政策、空域资源等支持。中央空管办积极支持深圳低空经济中心建设工作，希望发挥深圳力量和示范区的先发优势；中国民航局空管办将进一步加大力度支持深圳建设民用无人驾驶航空试验区，支持将深圳打造成为国内乃至全球领先的智慧空中交通（SAM）示范城市；
- （3） **印发了低空经济产业创新实施方案。**提出构建协同推进机制、开展核心技术攻关、夯实低空智能融合基础设施、培育特色应

用场景、集聚资源强链补链、健全规则制度体系、提高安全管理能力等重点任务，明确到 2025 年逐年工作任务目标及责任单位；

- （4） **率先启动了低空领域的立法工作。**《深圳经济特区低空经济产业促进条例（草案）》正在征求意见过程中。该条例基于审慎包容、服务发展原则，从基础设施、服务机构、产业应用、产业支持、技术创新、运营安全等方面制定稳妥推进深圳低空经济发展的地方法律规范。深圳立法部门正在会同行业主管部门、经济职能部门细化条例内容，预计 2024 年正式颁布实施；
- （5） **建设统一的低空运行规则与标准。**深圳以大量低空应用为牵引，面向真实场景，基于 SILAS 系统产生的大量真实数据，正在建设一系列统一的低空运行规则与标准。通过与行业标准组织、行业协会和研究机构共同合作快速形成地方性标准，并推动相应行业标准和国家标准体系的建立，统一行业规范，降低市场进入门槛，促进低空经济的创新高效发展；
- （6） **构建了多个推进低空经济发展的服务平台。**组建低空经济专家委员会，为深圳制定低空经济发展相关规划、政策、法规和标准出谋划策。成立低空经济产业协会，聚集一批科研机构和头部企业，助力行业规范化发展。研究制定《深圳市关于支持低空经济中心建设的若干措施》等鼓励措施；
- （7） **支持低空智能融合基础设施的建设。**启动《低空智能融合基础设施建设一期》项目的建设，其中一期的核心是低空经济发展的大脑-SILAS 系统。

另外，一系列的低空空域经济相关政策的制定也在推进之中：

- 建议支持开展军地民协同运行试点试验工作，推动研究制定《深圳市低空空域协同运行办法》，支撑构建军地民协同的低空空域管理机制。
- 协调推动军地民主管部门提供低空适飞空域资源合规化使用数据，编制《深圳市低空空域划设方案》，盘活深圳低空空域资源。

支持军方和民航主管部门先行试点将成熟应用场景和低风险空域无人机运行授权深圳市政府管理。

- 在确保安全可控的基础上，探索高效的数字化飞行活动申请和审批系统，以及“备案制”管理模式，提高低空运行效率，充分激活低空产业发展活力。加强深港澳三地低空飞行管理协同，完善低空飞行服务保障体系。

2023 年 11 月 16 日，国家发展改革委等七部门联合发布《关于再次推广借鉴深圳综合改革试点创新举措和典型经验的通知》，其中《通知》对深圳“创新低空经济发展新机制”方面给与充分肯定。创新做法包括：

- （1）出台《深圳市低空经济产业创新发展实施方案（2022-2025 年）》。
- （2）推进低空智能基础融合设施建设，推动构建支撑低空经济的设施网、空联网、航路网、服务网“四张网”。
- （3）支持企业开展无人机末端智能配送、旅游景区航线、生物制剂运输服务等试点，同步建设无人机空管服务系统。

在确保安全前提下，低空空域的开放和使用、空域供给和使用机制的创新，是加快发展低空经济的关键。而 SILAS 系统的建设，又为空域开放、发展低空经济、制定法律法规、制订标准规则等提供了真实数据依据和技术手段。

1.4.2 应用与产业发展

在过去一年，低空经济产业的发展也取得了可喜的成就，除了消费级无人机活动持续增长外，头部企业在即时配送、物流和载客空中飞行等应用场景取得了显著进展。

美团利用无人机开展社区即时配送业务。2023 年年初，美团无人机获得了《特定类无人机试运行批准函》和《通用航空企业经营许可证》。截至 2023 年 8 月底，美团无人机已在深圳、上海等城市落地 7 个商圈、17 条航线，可为 14 个社区写字楼、4 个 5A 级景区常态化提供无人机配送服务，并已累计完成用户订单超 18.4 万单，可配送商品种类超 2 万种，涵盖餐饮、美妆、快消、商超、电子产品等多种类型。

丰翼科技已经在常态化运营 85 条航线城市（间）无人机物流配送网络，获批 400 平方公里空域，累计飞行 13.65 万架次，运输货物 284.66 吨；东部通航拓展市内民航联程接驳、市内通勤、区域际飞行、深圳与香港跨境飞行等航线，推出“空中 120”救援、“空中见证奇迹”游览等服务。2023 年 5 月起，大疆运载无人机开始在黄山风景区进行运输常态化试点工作。据介绍，无人机的运输物资数量，每日最大可超过 2000 斤。目前大疆在农业植保、遥感测绘、电力巡检等领域无人机产量占全国 80% 以上。

作为低空经济的关键载体，无人机产业逐渐成为主导产业。在多重政策支持下，中国低空经济产业迅速发展，低空航空器及企业数量持续增长。据统计，截至 2022 年底，全国的无人机运营企业达到 1.5 万家，年产值已达 1170 亿元。注册的无人机数量为 95 万架，实时飞行次数约为 3.86 亿次，累计飞行时长约为 1668.9 万小时。

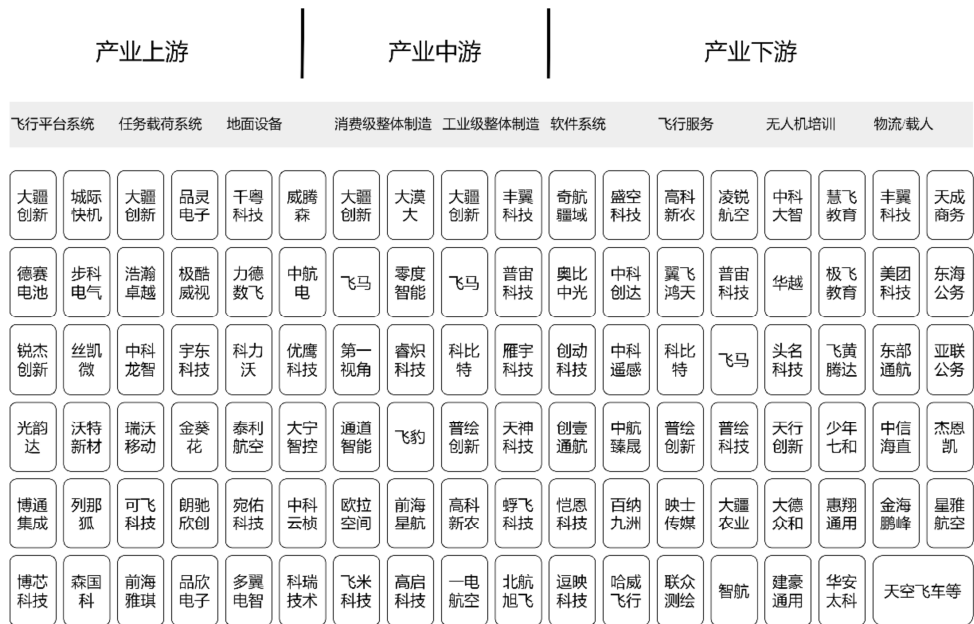


图 1.1 深圳低空经济相关企业代表（来源：深圳市委财经处）

2023 年 10 月 13 日，eVTOL 制造产业发生了一个历史性的里程碑事件。中国民用航空局向亿航智能设备（广州）有限公司（亿航智能）颁发

EH216-S 型载人无人驾驶航空器系统型号合格证(简称 TC)，这标志着 EH216-S 的型号设计符合中国民用航空局适航要求，具备了载人运营的安全能力，这也是全球首个获得该类合格证的航空器。这个适航证的颁发，不仅仅代表中国 eVTOL 技术的成熟度，也代表了 eVTOL 的适航审定程序也已建立起来。

根据深圳市无人机行业协会统计，深圳市已集聚 1500 余家低空经济产业链企业（图 1.1），2022 年低空经济总产值超过 750 亿元，到 2024 年，无人机在国内的市场规模将达 1600 亿元，其中快递物流方面的无人机市场规模约 300 亿元。从增长前景看，物流无人机增速在各个细分领域中位于前列。根据中商产业研究院提供的数据，物流类无人机增长率为 238%，发展前景广阔。根据预测，到 2040 年，无人机配送可能会占到当日包裹递送量的 30%。

1.4.3 飞行器进步

近年来随着技术和研发的进步，低空飞行器技术也越来越成熟，支持的业务种类和场景越来越丰富，安全性能也越来越有更多保证。不同类型的无人机的载重能力、航行时间都在不断突破自我的天花板。载物和载人的行业应用无人机成为无人机发展的新趋势，特别是 eVTOL 的发展远超人们的预期。一年以来，飞行器领域主要的技术进展总结如下。

- 2023 年 4 月、5 月，丰翼科技陆续发布了丰舟 90 和方舟 150 两款无人机新产品。丰舟 90 无人机是丰翼科技调配的专门用于跨海运输的无人机，具有高速度、短距离和可视化监控等特点，其时速高达 108km/h。方舟 ARK150 无人机配备了先进的飞行控制系统，具备出色的悬停能力和稳定性。其最大飞行速度可达 100 公里/小时，最大续航时间达到 30 分钟，其载荷容量达到 15 公斤，能够满足农业植保喷洒、物流快递、航拍摄影等多个领域的需求。
- 2023 年 5 月，零重力公司发布 ZG-ONE 的 eVTOL 产品，主要用于旅游场景。

- 2023 年 6 月，上海时的科技有限公司，发布 E20 eVTOL 原型机。该飞行器采用倾转旋翼构型，设计最大航程达 200 公里、巡航速度达每小时 260 公里，最快时速 320 公里。采用电机和电气化架构设计，采用大直径低转速 5 叶螺旋桨，大幅降低飞行噪音，简化动力传输方式。
- 2023 年 6 月，峰飞航空科技携 2 吨级 eVTOL 载人航空器盛世龙，日前亮相第 54 届巴黎国际航空展览会。该飞行器采用了垂直起降固定翼构型，顶部搭载了 8 个旋翼提供垂直起飞及降落阶段的升力，当飞行高度达到 150 米、空速达到每小时 160-180 公里后，机翼可产生足够的升力，顶部旋翼停止旋转并锁定，飞机进入固定翼巡航模式，由尾部螺旋桨持续推进飞机前行。最大起飞重量 1500 公斤，可搭载 4 人，巡航速度 200 公里每小时，纯电最大航程 250 公里。
- 2023 年 7 月，美团发布最新款一第四代多旋翼无人机。该机型具有高效配送、高性能飞行、冗余备份设计、精准定位和导航以及三级安全保障体系等特点。配备有六旋翼折叠三叶静音桨，双目立体视觉相机、4D 毫米波雷达等感知组件，最大载重能力为 2.5 公斤，满载情况下的最大配送距离达到 10 公里。第四代无人机具备较强的抗风能力，在雨雪天气下仍可安全运行。为提高飞行安全，新机型在关键子系统（通信、电池、飞行控制系统）上设有冗余备份，同时还设置了多层控制防御机制，首次搭建了“冗余备份运行—安全迫降—开伞”的三级安全保障体系。
- 2023 年 8 月，大疆发布了首款运载无人机 DJI FlyCart 30。该机型在双电模式下最大载重 30 公斤、满载最大航程 16 公里。最大抗风速度可达 12 米/秒。从起飞到降落都提供安全保障，包括备降点设置与紧急备降等功能。
- 2023 年 10 月，中国民航局向亿航颁发 EH216-S 型无人驾驶航空器系统型号合格证（TC），标志着 EH216-S 的型号设计符合民航局适航要求，这是最关键也是最复杂、最困难的一步认证。再经过生产许可证（PC）和单机合格证（AC）后，就具备载人运营安全

能力的同时，也具备了无人驾驶航空器载人商业运营的资格。这也是全球首张无人驾驶的载人电动垂直起降航空器型号合格认证。EH216-S 型载人级无人驾驶航空器是一款能够实现无人驾驶的航空器。它可以搭载两名乘客，以 130km/h 的速度在 200-3000 米高度飞行，满载最大航程 30 公里，最大航时 25 分钟。

飞行器技术的成熟为低空经济的载体提供了坚实的保障，很大程度上解决了无人机本体飞行的安全问题，为低空经济的发展奠定了基础。飞行器技术还在不断持续迭代，飞行器形态和续航能力也在不断优化

1.4.4 基础设施建设

在第一版白皮书中，我们重点介绍了深圳计划建设的低空智能融合基础设施。

1.4.4.1 物理基础设施建设进展

在过去一年里，深圳在低空智能融合物理基础设施方面取得了以下具体的进展。

1. **融合飞行保障基地：**建设了马峦山城市低空融合飞行保障基地，并布局了一批地面配套设施，网格化布局了 30 个以上低空飞行器起降平台。（图 1.2）
2. **融合飞行示范基地：**建设了直升机和 eVTOL 融合飞行示范基地，以推动低空经济的发展。

“ 2023 年 10 月，中国民航局向亿航颁发 EH216-S 型无人驾驶航空器系统型号合格证（TC），也是全球首张无人驾驶的载人电动垂直起降航空器（eVTOL）型号合格认证。 ”

3. **空中急救体系：**推进依托重点医院建设的停机坪，搭建了空中医疗救护通道和空中应急救援体系，逐步构建全方位多领域的低空服务圈。
4. **共享起降设施：**与头部企业合作，布局可以共享的起降设施，促进低空物流的业务发展。
5. **低空经济测试场：**深圳划设了位于龙岗区坪地的无人机测试场作为深圳市低空经济基础设施建设的测试场。

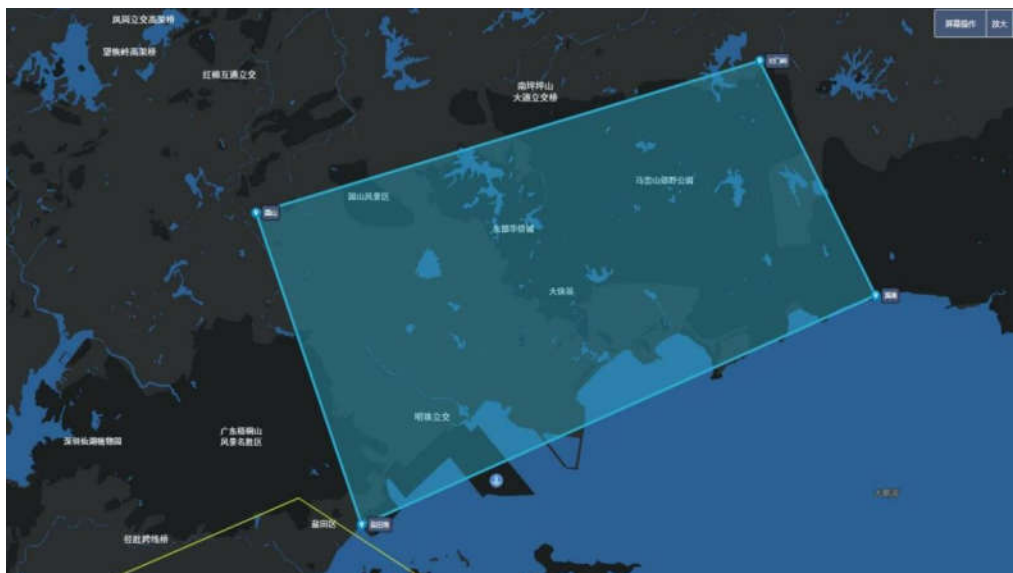


图 1.2 盐田马峦山低空融合飞行试验区 (来源: IDEA 研究院)

龙岗无人机测试场位于龙岗区坪地街道，占地面积 6.1 万平方米（计划扩展到 10 万平方米），空域约为 12.56 平方公里。（图 1.3）

建设部署方案如下：

- 0-150 米 5G 全覆盖；
- 增加 3 个高频 5G 基站；
- 开放给有 CNS 能力的供应商集中测试；
- 监视及定位导航设施及气象等支撑设施；
- 物理基础设施按软件测试必要化部署。

主要测试科目:

- SILAS 系统运行测试；
- 先进 CNS+X 技术验证与可靠性测试；
- 高密度融合飞行验证；
- 起降设施测试和验证；
- 应急迫降演练、方案测试；
- 先进探测、反制设备与方案测试。



图 1.3 龙岗坪地低空经济测试场（来源：IDEA 研究院）

1.4.4.2 SILAS 系统建设进展

围绕着 SILAS 系统，深圳启动了低空智能融合基础设施一期的建设，在两年内落地 SILAS 系统的基本全数字化框架，赋能低空经济的发展，丰富低空经济的业务，提升低空经济的效率，保证低空经济的安全，降低低空经济的成本。

目前，作为低空智能融合基础设施建设项目的先导工作，深圳在 SILAS 系统的建设上取得了一些初步的进展，已完成了 SILAS 系统的顶层设计和具体功能模块设计，并对一些具体的任务进行了前期的研发工作。



图 1.4 数字化空域划设和管理的基础工具（来源：IDEA 研究院与腾讯的合作）

1. 数字化空域划设和管理的基础工具

低空空域管理需要用于构建数字化空域的基础工具。在 SILAS 系统研发自动构建数字化空域的智能能力的过程中，空域构建工具将使专家可以更高效快速地搭建的各类新型数字化的低空空域，也使空域的动态设计和数字化管理变为可能。这样，我们能够更快地为低空空域的融合飞行提供基础数字化保障，并更好地提高低空空域资源的利用效率。同时，人工构建的空域也将成为 SILAS 系统智能空域构建的训练数据，加快自动空域构建能力的建成。目前，数字化空域划设和管理的基础工具已基本完成，并已经过实际城市低空空域验证。（图 1.4）

2. 飞行活动申报系统

飞行活动申报系统实现对无人机消费者和运营机构、无人驾驶航空器等飞行主体和设备的注册和管理；实现适飞空域的查询、空域申请和提交、飞行计划申请等各类申请和申报功能，统一了低空领域飞行活动申报渠道，提升空域安全可控水平和审批效率。

系统根据 2023 年 5 月制定《深圳市低空飞行申报审批服务平台建设

（过渡期方案）》，目前已完成系统研发工作，并根据民航深圳监管局、民航深圳空管站、市公安局治安管理支队及相关企业的意见反馈修改完善。下一步将在南部战区的指导支持下打通线上化审批工作，在运营主体建立完善后上线。

3. 统一数据共享平台

为了更好地服务低空经济各管理主体，为运营企业、政府监管部门解决低空飞行器“看不见”的痛点，深圳建设了数据共享平台，聚集了各方提供的飞行器信息、空域使用情况、飞行动态、异常事件告警和飞行计划辅助信息等数据到数据共享平台，让各关联方根据授权共享相关的低空信息数据，并根据获得的数据规划和调整其各自的业务流程和飞行任务。



图 1.5 低空活动展示平台（来源：IDEA 研究院与深成交的合作）

目前平台已接入如下数据，

- （1） 空域数据：深圳市的管制空域和适飞空域数据，并通过飞行计划申报维护；
- （2） 城市底图数据：卫星地形影像、行政区划、建筑数据、交通路网、三维模型、车流和气象情况数据；
- （3） 飞行动态数据：已获取 34 家行业无人机，UTMISS 的消费无人机飞行动态，集群飞行等等。

4. 低空空域展示平台：低空视界

低空空域展示平台（低空视界）为深圳低空经济活动提供一站式展示方案。它为低空管理服务中心管理人员和操作员提供全域的低空态势情况、展示低空航线和轨迹动态、显示飞行器或者空域异常时间并告警。

低空活动展示平台将作为未来 SILAS 系统的管理服务中心的一部分，除了提供展示功能外，还将叠加控制和指挥功能。（图 1.5）

1.5 小结

本节回顾了第一版白皮书的内容，介绍了我们对低空经济价值的深化理解。同时，对低空经济发展的四个要素：政策、应用、飞行器和基础设施等在过去一年的进展做了一个总结，包括 SILAS 系统的一些前期工作。本节也重点阐述了国家层面和深圳市的最新进展。

“ 过去一年，深圳在低空智能融合基础设施建设方面已经取得了初步进展，在地面物理基础设施、智能融合低空系统 SILAS 建设中进行了很多有效的先行探索和验证。 ”

低空经济的进展

2 低空经济认知的深化

一年以来，粤港澳大湾区数字经济研究院一直在不懈地探索低空经济发展之路。我们对低空经济发展有了更多新的理解和认识，很多思路也逐渐沉淀到我们正在研发的 SILAS 系统中，成为低空智能融合基础设施的一个重要部分。



图 2.1 未来的低空飞行示意图（来源：IDEA 研究院）

2.1 低空智能融合基础设施的认知深化

深圳低空经济发展势头迅猛，低空运营企业已经开始加速布局其在深圳的低空业务。这些低空企业已经开始在深圳建设各自所需要的物理基础设施（起降点）和信息基础设施（通信、导航和监测）。为了避免重复建设，避免有限的地面资源、空域资源、频谱资源等被各不相兼容的企业私有系统占用而不能共享给所有低空经济企业，亟需政府主导统一建设标准化的、互相联通和可共享的物理基础设施和信息基础设施，促进低空经济整体有序安全发展，减轻低空企业“既造车（飞行器），又修路（低空航路及飞行服务）”的负担，降低新兴低空应用和创新企业的进入门槛和成本，提供监管部门更精细更准确更智能的空域和飞行管理工具。

建立统一标准化的低空智能基础设施是降低低空经济运营成本的关键。首先，由政府主导建设可共享的基础设施能大幅降低企业建造和使用基础设施的成本，而标准化也会允许通过竞争将基础设施中的设施设备的制造成本和服务成本降到最低；其次，将公共能力放在基础设施承载，则可以降低企业的运营成本；最后，将飞行器原来要承载的航路规划以及飞行冲突解除等功能转移到基础设施上统一处理将会降低飞行器成本。同时，精细化的基础设施以及规划允许大规模的低空飞行，规模化的业务也会降低低空业务的边际成本。全数字化的基础设施允许系统在规划和分配航路时，可以按照时间最短、成本最低或者时间最少等多个维度进行优化，用来降低不同业务类型的成本或增加其收益。

建设低空智能融合基础设施是高质量发展低空经济的核心和基础，可以有效地解决低空经济发展中的关键问题：

1. 解决有限的地面、空域和频谱资源共享共用的问题，避免重复建设，减轻企业负担，用标准规范降低产业门槛，促进产业发展。
2. 解决军民航对低空飞行器“看不见、呼不到、管不住”的基本安全问题，用先进技术促进低空空域的进一步开放。
3. 解决低空经济中大规模高密度飞行的安全、效率和成本问题，用精细的数字化手段推动低空经济高质量发展。
4. 解决低空经济“管理、资源、业务、运营”等多主体、多业务、全方位协同问题，为低空飞行的运营管理提供技术手段，为低空经济中关键法律法规、标准规则、产业政策等的决策提供数据依据。

基于这个认知，深圳市已经开始建设低空智能融合基础设施的“四张网”，包括“设施网”、“空联网”、“航路网”和“服务网”（图 2.2）。其中，设施网指支撑低空飞行业务的各种物理基础设施，如起降站，能源站等；空联网指通信、导航和感知等信息基础设施，是将低空数字化成可计算空域的关键；航路网指提供空域和飞行数字化管理和服务能力的核心平台（操作系统）；服务网指组合数字化管理和服务能力而构建的赋能各低空经济管理和业务主体（如政府方、空管方、管理方、运营方、业务方等）的应用。

这四张网在保证开放性的同时，明确地践行了统一标准、互联互通和共享共用的特性。其中，“空联网”、“航路网”和“服务网”的建设落实在搭建一个统一的全数字化的智能融合低空系统（Smart Integrated Lower Airspace System, 简称 SILAS）上。SILAS 系统作为深圳市低空经济发展中的核心——低空“大脑”，统一协调全域的低空空域使用，管理和服 务低空飞行活动，保障低空飞行的安全和效率，降低低空经济发展的成本，为政府的低空经济战略提供数据依据和方向预测。

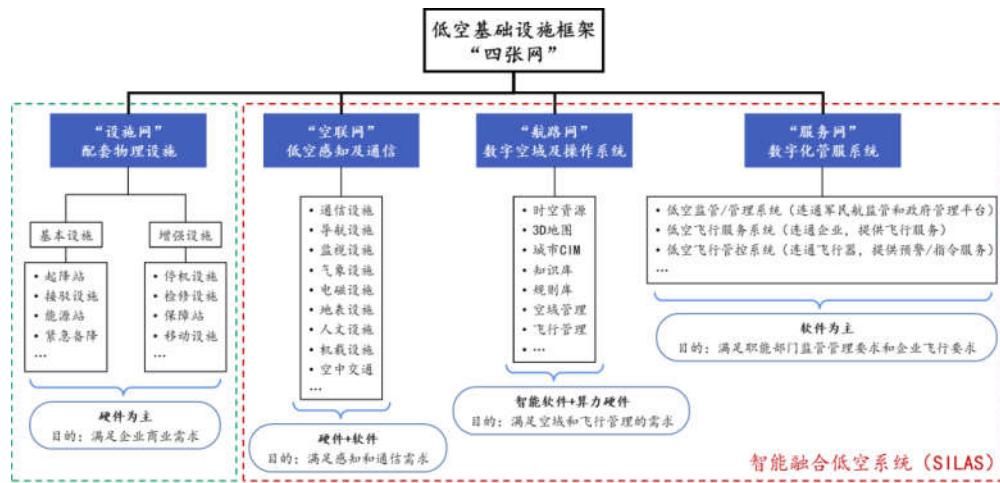


图 2.2 低空智能融合基础设施的“四张网”（来源：IDEA 研究院与深圳市委财经处的合作）

2.1.1 设施网

解决第一个问题的方法是建设“设施网”。飞行器执行飞行任务，离不开基础的物理设施（“设施网”），包括起降点、能源站等，出现异常状况时所需的备降点、迫降点等，以及日常运维的维修站、业务场景需要的接驳站、装卸站等。为了充分提高低空经济的业务效率和设施使用效率，这些物理基础设施的服务能力必须是数字化的，并且需要实时更新其状态，以便 SILAS 系统通过数字系统对其进行调度并优化使用效率。其中，设施网的建设已经落实在联合各低空业务运营公司，制订低空物理基础设施标准，并有序试点可共享的物理基础设施（起降点、起降站等）。

2.1.2 空联网

解决第二个问题的方法是建设“空联网”，即建设覆盖全域的多方位多模态的通信、导航和监测等信息基础设施，将低空空域和飞行器信息数字化，搭配 SILAS 系统的智能处理能力，对低空所有飞行器的精细化监测、识别、定位和报送。

在此基础上，所有合作和非合作飞行器、合法和非法的飞行器、合规和不合规的飞行器均能被系统监测到并准确识别。对于合作飞行器，SILAS 系统可以通过通信基础设施与其进行有效交流，并根据监管方指示对其发送监管指令。

目前，低空空域最终所需要的通信、导航和监测技术和产品还不完善，还需要较多技术突破。由于低空空域高度可达地面以上 1000m，而现有无线网络（4G/5G 网络）的有效覆盖高度大致为 150m 左右，所以通信基础设施需要进一步突破和完善，最终解决方案可能是目前融合当前 4G/5G 网络与专用通信链路/网络、通感一体化网络或者未来的低轨卫星网络。而导航系统的精度需要通过辅助设施进一步提高。监测设施的建设需要大量创新技术，对低高度、小尺寸、缓慢飞行的飞行器进行有效精细化监测和识别。

鉴于同时在空飞行器数量、低空业务的发展需要一个过程，信息基础设施建设的重点可以先放在敏感区域和有丰富低空业务的区域。虽然前期监测和定位的精细度、通信网络覆盖达不到最终要求，但可以用“先疏后密”的建设理念，同时限制低空飞行不超过通信覆盖范围等措施，来更好地保障安全 and 提高效率，尽快对目前的低空业务产生积极影响。

2.1.3 航路网

解决第三个问题的方法是建设“航路网”，根据信息基础设施提供的数据和其他环境信息数据，规划适航空域的高效使用，设计安全合理的航路航线，协调地面物理基础设施的有效利用，协调整个低空空域飞行器的飞行计划和时间表，监测合作和非合作飞行器状态，监测空域变化和环境

变化，主动解决飞行冲突，按照预设规则提前或者即时进行相关飞行计划或航路调整，解除局部飞行风险，减少对整体空域飞行秩序的影响。

“航路网”是 SILAS 的核心，也是数字化系统的主要部分。在保证安全的前提下，SILAS 系统主要解决如何允许“异构、高密度、高频次和高复杂度”的低空飞行，提升空域容量、提高空域使用效率。

2.1.4 服务网

解决第四个问题的方法是建设“服务网”。SILAS 系统是一个极为复杂的大系统，除了需要应对复杂的空域环境外，它还涉及到与众多低空管理和运营主体发生强关联与协同。与低空经济关联的管理和协同部门包括：

管理：军用航空管理部门、民用航空管理部门；地方管理部门（交通局）、地方执法部门（公安）；边境部门（海关、边防）；

资源：城市信息提供者（CIM、城市三维地图等）；气象信息提供者（航空气象、城市低空精细化气象）；通信能力提供者（通信设施、能力和服务）；导航能力提供者（定位导航设施、能力和服务）；监测能力提供者（监测识别各种低空飞行器/物）；空中信息提供者（空中环境信息的监测和感知）；地面信息提供者（地面交通、人群、活动、人文信息感知设施和服务提供者）；物理设施和信息提供者（地面物理设施和信息）；

业务：飞行器信息提供者（飞行器信息、载荷、状态、位置、计划和意图等，接受系统指令和情报并做出相应处置）；低空业务运营商（提供业务飞行计划、飞行器信息，飞行控制，接受系统或业务指令和情报并做出相应处置），包括通用业务运营商、专用业务运营商和个人消费者。

SILAS 系统的设计与建设必须首先明确与这些关联主体的协同关系。SILAS 系统的定位是：

- 1) 为监管部门、管理部门、政府运营实体提供技术手段对低空飞行实施有效管控和安全保障，除了反馈实际运行数据外，不会越权自主地对低空系统或者飞行器发出管控指令或修订运行规则（特殊经授权的业务除外）；

- 2) 为低空业务运营企业（例如空中的士）或个人提供保障其飞行安全和效率的飞行服务和飞行情报，而不会干预运营者的飞控系统以及其内部业务运行系统（为政府监管部门和管理部门转发的监管信息和指令除外）。

低空经济关联主体的多样性和复杂性，导致了 SILAS 系统服务的繁杂多变的各个对象、各个业务绝不可能通过一个简单的信息化应用就可以满足其各种监管、各种管理、各种业务的需求。SILAS 系统必须成为一个全数字化的基础平台，并允许各关联主体在平台上搭建相应的应用或服务，才能满足各方需求。

此外，SILAS 系统还需要支撑低空经济发展中的关键宏观战略的制定，包括但不限于政策法规、标准规则、投资方向、生态布局、产业发展、监管管理、空域划分、质量衡量、统计预测等多方面，为相关部门的决策提供数据依据。

2.1.5 精细化的 SILAS 系统

低空经济的核心思路是把低空空域从自然资源通过数字化和先进技术手段变成可计算、可运营的经济资源。通过建设更加精细化的“空联网”、“航路网”和“服务网”，我们将打造一个精细化的 SILAS 系统，利用数字化手段保证飞行安全，提高飞行密度，增加空域容量，提升空域使用效率。

低空空域飞行任务多数为短距离飞行。随着在空低空飞行器数量的增加，为保障低空空域飞行的安全，低空信息基础设施技术需不断完善，精细度需不断提升以获得更细空间粒度的信息，比如细粒度的气象信息、电磁信息、更精准的定位信息等，以及动态的实时或者准实时的信息，比如地面活动和交通信息、地面人文信息、限制空域信息、空中交通信息、地面物理基础设施信息（如起降站等）。

为了充分发掘低空空域的经济效益并提高低空空域使用效率，需要支持异构的业务场景和需求，包括军用的、民用的，有人的、无人的，载客的、载物的，短、中、中长距离的等等，以及不同的飞行模式，如计划飞

行、即时飞行、自由飞行、紧急飞行等。SILAS 系统需要支持这些异构的飞行器和业务在低空空域高密度运行。同时，为了获得更高的空域使用效率，SILAS 系统还需在保证安全的前提下支持这些异构飞行器和业务在同一低空空域融合飞行。

随着飞行规模和密度的提升，只有通过全数字化的工具、智能化的设计来完成对传统的空域划分、航道设计方法的革新，才能在保障安全的前提下提升低空空域的系统容量，提高空域使用效率。

SILAS 必须是一个全数字化、智能化的系统，以合理的成本支持当前与将来能产生经济效益的各种类型的飞行器和各自融合飞行模式，支持人工无法承担的高密度、高频次和高复杂度低空飞行的管理和服务工作，支持超过 10 万架次同时在空飞行的超大规模场景。SILAS 必须能为政府部门提供有效的低空管理服务手段，保证低空飞行安全，提高低空空域使用效率，促进低空经济的安全健康地发展，为国家发展低空经济提供坚实可靠的示范系统。

2.2 全数字化系统认知的深化

发展低空经济是一个复杂的大系统工程，系统的顶层设计需要准确无误、计划周密，既要着眼当前的低空经济发展落地需要，也要规划未来可能的低空经济拓展需要。在经过一年多的广泛调研和深度思考后，我们对发展低空经济所需的系统又取得了进一步的认知，这些认知是在第一版白皮书基础上的增强和进一步完善。

鉴于低空经济的发展依赖于大规模、高密度的低空飞行，其管理和服务的复杂度已经远超传统人工管理和服务的能力范围。低空飞行的管理和服务必须依托一个全数字化、智能化直至自主化和自进化的系统来辅助人类甚至在某些成熟的业务上可以替代人类进行管理和服务。

在我们的低空经济的系统设计里，全数字化低空智能融合系统（SILAS）是核心，是低空经济发展的“大脑”，是低空经济的数字底座，它为发展低空经济提供全方位的技术支撑、安全保障、管理工具、业务服务和数据依据。以技术手段为监管方、产业方、运营方和管理方的职能和

业务赋能。

2.2.1 系统关键认知

我们对 SILAS 系统的认知深化体现在以下几个方面：

- 目标

SILAS 系统旨在为我国乃至世界提供低空经济高质量发展的示范方案，在第一版的基础上，根据我们对低空智能融合基础设施的新的认知，为体现 SILAS 系统对多主体、多业务、全方位协同和低空经济宏观决策的影响和作用，SILAS 系统的目标调整为：

- 1) 解决低空空域中对各种低空飞行器的“看不见、呼不到、管不住”的基本安全问题；
- 2) 解决规模化低空飞行中“异构、高密度、高频次和高复杂度”的安全、效率和成本问题；
- 3) 解决低空经济“管理、资源、业务、运营”等多主体、多业务、全方位协同问题。

- 突破

SILAS 系统采取与传统航空空域管理和飞行管理完全不同的基于



SILAS 系统的目标：

- 1) 解决低空空域中对各种低空飞行器的“看不见、呼不到、管不住”的基本安全问题；
- 2) 解决规模化低空飞行中“异构、高密度、高频次和高复杂度”的安全、效率和成本问题；
- 3) 解决低空经济“管理、资源、业务、运营”等多主体、多业务、全方位协同问题。



数字底座的全数字化技术路线，是航空领域中对应电信领域之“IP 交换”变革，也是对传统基于航路/航线管理方式的突破。它将空域管理和飞行管理上升到一个系统高度，将全空域作为一个系统来规划和使用，将单次飞行任务的执行，也上升到系统层面来提高飞行服务和安全保障。它充分遵守和实现所有空域管理和飞行管理的规则和法规。它将在低空空域探索更精细化的管理模式，为未来低空经济形成的新规则和法规提供数据依据并进行充分验证，并对传统航空的数字化管理提供高质量的参考。

- **主体**

SILAS 利用数据作桥梁，打通了以前各自为政的各关联主体之间的隔阂，使用一套系统就能满足所有主体的各种各样的需求。数字化技术使各主体之间的边界可能发生融合或分化，有些管理主体的职责可能需要合并，有些可能需要分离。也有可能催生新的管理主体去综合管理低空经济中出现的新的问题，比如，对低空经济宏观发展的管理和决策部门等。这些都是 SILAS 系统需要服务和赋能的主体。主体的多样性需要依托一个聚合各种能力的平台来灵活、高效以及低成本地构建各自对应的服务和业务。

- **平台**

鉴于 SILAS 系统承担着服务所有的低空经济关联主体、服务所有的低空业务场景和管理任务、服务从飞行到经营到决策各个阶段不同的需求，它绝不是一个简单的 IT 系统或者完成单一低空任务的应用，而是一个提供低空经济所有能力和所有数据支撑的平台，是一个操作系统。在 SILAS 的基础上，各低空经济关联方可以任意搭建适合各自管理和业务需求的服务和应用。

同时，它是一个数据驱动的不断生长和进化的开放的智能体，随着实际运营数据的不断积累，它会变得越来越智能，越来越安全、高效，成本也越来越低；同时允许第三方一起参与升级与改进，而不需要对整个架构进行重构。

任何把 SILAS 系统当成一个简单 IT 系统的观点或者觉得可以把

其中一部分独立做成一个简单 IT 系统的想法，都是没有真正理解低空经济这个庞大复杂系统的本质，而只会把一个统一的系统做成一个个孤立的烟囱。

- **边界**

SILAS 系统有着明确的边界。它只提供一整套数字化工具和技术手段协助各关联主体更好地去执行各自的管理任务和业务任务。它不会突破这个边界去干扰或者干涉或者越权行使各管理主体的职责，无论是监管方、产业方、运营方还是管理方。但各关联主体可以根据 SILAS 系统提供的更丰富的信息、更智能的参考建议、更精细化的事件和态势感知、更人性化的交互等去进一步优化各自的管理和业务流程，提升安全、提高效率或者降低成本。

- **规则**

SILAS 系统是建立在可计算空域基础上的全数字化系统。虽然理论上，我们可以对任何飞行任务可以即时计算出一个安全的航路，甚至可以利用动态预测和调整的数字能力，允许低空飞行器可以随时任意飞行或者融合飞行。但允许任意飞行的代价是系统巨大的算力资源，在飞行密度高到一定程度，甚至变成了一个 NP-Hard 不可解的问题。而传统基于规则的飞行则可以大大减少系统调度的计算需求，并且能满足常规的飞行需求。所以，规则和算力是一对我们需要平衡的因素。根据已有的规则和积累的飞行数据，SILAS 系统可以固化一些成熟的规则沿用到系统中去，而对确实有自由飞行需求的飞行任务，则可以利用算力即时规划并提供飞行保障。其中的算力资源和管理负担可以通过提供不同成本的服务予以平衡。同时，规则可以根据需求不断演进和完善，以更好地满足实际应用的需求。另外，即使 SILAS 系统在保证系统安全的前提下，能提供低空飞行器自由飞的可能性，实时动态规划所有飞行器的自由飞行所需的计算资源将十分昂贵。因此，在通常情况下，最有效的运行方式仍然是将成熟的飞行方案固化成通用的规则，SILAS 则在规则的约束下调用更少算力资源进行有限或者局部动态优化，从而将主要的计算资源用到更高优先级的任务上。

- **仿真**

SILAS 系统作为一个全数字化系统，它还具有一个独特的优势。不同于传统空域和飞行管理系统，要么是传统经验预先设计规则进行管理，要么是根据具体飞行任务状态实时进行，SILAS 系统可以事先进行仿真或者事中进行预测。这样，在一个飞行任务没有开始时，就可以对航路上的情况和风险进行仿真，提前获得相关数据做参考。在飞行任务进行中，通过实时观测和预测，可以预见未来一段时间内空域或者航路态势的变化、低空飞行器的状态和轨迹的变化等，防患于未然，进一步增强低空飞行的安全性。在飞行任务进行后，通过复盘仿真，可以为未来飞行找到更佳的航路。

SILAS 仿真的能力，还可以允许对任意地方的空域和城市环境进行仿真模拟，允许实际飞行器或者虚拟飞行器，在虚拟环境里进行仿真飞行，以便对仿真空域和城市环境进行无风险模拟飞行，以获得对航路、飞行器、CNS 设施设备、飞行规则等接近真实世界的测试数据，极大地加速系统的迭代、快速提升系统的智能化水平。

2.2.2 系统赋能的业务

SILAS 系统提供各种各样的数据和能力给低空经济的各关联方，也为他们的业务工具和范围带来了很多变革，其中包括但不限于以下几个重要方面。

- **管理/服务数字化**

SILAS 系统的核心功能是提供宏观空域管理和微观飞行管理的数字化工具。其中宏观空域管理是对空域全局性的管理工具，包括但不限于空域划分、空域规则、空域管控、空域分配、空域察觉、航道划设、航道规则、航道管控、航道分配、全域飞行活动态势监控、非合作飞行器入侵监测与告警、飞行冲突预警、空域环境变化预警、空域用途改变预警等各方面。而微观飞行管理则是对具体飞行任务全过程的管理工具，包括飞行计划申报/审批流程、起降过程管理、起降场调度、飞行情报、飞行途中监测、预测和预警、异常情况处置建议和航

路调整、飞行冲突解除、飞行规则落实与监督、空管指令转达、故障处置、优先避让等各方面。

除了上述具体业务管理或服务的数字化外，全数字化系统还涵盖对人类管理者或者操作者进行监管，对各种人类操作、决策、管理全流程进行监管，对异常情况进行预警甚至智能干预，消除人类疏忽或者恶意带来的系统安全风险；此外，它也需要对多方协同的各方进行监管，厘清责任主体和事件根源，对协同行为和流程进行监测、预测、预警、建议和提示。

管理和服务数字化还涉及对低空经济各种相关设备/设施进行数字化和智能化的管理，监测各种设施设备的状态、容量和能力等，并根据需求合理分配，以便这些设施设备被高效、合理地共享和使用。

- **安全数字化**

SILAS 系统作为全数字化方案还涉及到对安全的管理和管控的数字化。安全分为数据安全、飞行安全、管理安全等各个方面。数据安全的低空飞行的第一道防线，对有关飞行管理和控制的数据必须保证绝对的安全，需要对数据生产、传输、存储、处理和使用的全流程进行安全管理，需要引入最先进的数据保护技术、安全计算技术、区块链技术、可算不可见（SPU）技术保证即使万一数据链环节出现安全隐患，系统能及时修复和止损，不会影响到更高层次的飞行安全。同时，为了后续的跟踪、分析和追责，飞行数据、运营数据和管理数据必须具有不可篡改、不可伪造、不可删除、可追溯、可复现的能力，这也包括飞行器和飞行操作员/飞行员的身份识别和确认。确保全流程中的每一个环节问题分明、主体分明和责任分明。

飞行安全是低空经济中安全的一个核心。低空经济的所有经济效益必须建立在安全飞行的基础上。飞行安全是前提、是底线、是红线。全数字化的 SILAS 系统设计了多个层次的安全防护措施，例如飞行前风险评估，飞行中风险监测、预测和处置，飞行后数据追溯和分析等，以数字化和智能化技术确保守住安全底线。

- **质量数字化**

低空经济必须高质量发展，才能达到发展低空经济所承诺的经济效益和社会效益。而一个全数字化系统能给高质量发展带来很多可以量化的指数或者指标。

例如，效率的量化，可以用实际的数据对各种效率进行衡量，比如空域利用率、飞行器利用率和使用效率、信息设备设施利用率、起降设施利用率、能源设施利用率、投入与产出效率等；通过建立数字化评估框架，能够对飞行的各个方面进行量化评估，比如安全、能耗、对环境的影响等；通过建立一些客观的标准和测试条件，可以对系统迭代的效果和不同供应商的技术/方案进行客观量化评估；通过设立统一的服务标准，能够对系统对各关联主体的服务质量做出客观可量化评价；通过对系统管控的各种低空业务的数据统计，可以对低空经济的整体健康度（比如各种应用的质量和欢迎度）进行客观量化评估。

这些都是通过数字化系统获得的对低空经济发展质量第一手真实的数据，对低空经济发展起着至关重要的指导作用。当然，在宏观获得质量数据和评估的同时，必须保护各关联主体的数据主权，保护他们的数据隐私和机密。这也是 SILAS 必须坚持的底线。

- **经济体系数字化**

如前所述，SILAS 系统除了首要支撑规模化低空飞行，并为其保障安全、优化效率和节约成本外，还需对低空经济发展战略决策提供数据依据。不但会对低空经济发展的商业规模、市场、应用提供数据支撑，还会促进政府在低空经济发展中战略决策数字化，对政策法规、标准规则、投资方向、生态布局、产业发展等方面不但提供历史数据，也能预测未来可能的发展方向。让所有决策有数可依，有据可查。

- **研发平台数字化**

任何智能化系统都需要根据积累的数据不断迭代和优化，它是一个“活”着的动态进化的系统。SILAS 系统也不例外。它是所有低空经济数据的统一和共享平台。它是一个开放的平台，容许第三方研究机构或者智能能力提供者轻松地将最新研究成果集成到系统中去，通过实际的数据和环境对其进行验证，对其使用效果进行度量。同时，

SILAS 系统还可以允许应用开发者，在其平台开发创新应用，甚至允许他们在其平台上对新应用进行仿真验证，只有验证成功后再进行实质的投入和商业运作。

2.2.3 系统的特性

为了更好地满足各方低空经济发展的需要，保证顶层设计的准确性、兼容性、可拓展性、可持续性、可迭代性，充分赋能低空经济各关联主体，作为一个智能化的全数字化方案，全数字化的 SILAS 系统应该具有以下特性：

1) 全空域 (All Air Space)

SILAS 系统的管控和服务范围覆盖整个低空空域。而传统航空通过航空雷达对空域进行监测，虽然可以对整个空域进行覆盖，但对低空空域的监测能力不足；同时，传统航空只关注对设定航路的飞行服务，对航路之外的空域很少能够提供服务。而规模化的低空经济需要充分利用所有适航低空空域，既需要支撑设定航路飞行，也需要支撑点对点的自由融合飞行，故需对整个低空空域进行感知、监测、管控和服务。

2) 全因素 (All Factors)

SILAS 系统需要将所有影响低空飞行安全和效率的因素考虑进空域规划、航路设计、飞行监测、飞行预警和飞行服务中去。这些因素包括但不限于三维地图、位置信息、障碍物信息、建筑物信息、气象信息、电磁信息、地面活动和交通信息、地面人文信息、限制空域信息、空中交通信息、空中非合作飞行器信息、地面物理基础设施信息（如起降站）等。同时随着技术和低空经济的发展，SILAS 系统也很容易扩展去包括新的影响因素。

3) 全数字 (All Digitized)

SILAS 是一个全数字化系统，它将低空空域环境信息和空域中飞行器的信息通过各种数字感知基础设施或第三方信息提供商，完全数字化成一个可计算空域。低空通信、导航和监测信息基础设施可以提供对空域飞行器的数字化信息，而其他环境信息如气象信息、电磁信息、地表信息、障

碍物信息，则需要专门的地面或空中传感设施来提供。另外三维地图信息、建筑物信息、地面活动和交通信息、起降站信息等，则需要政府数据部门或者第三方信息提供商提供。所有这些信息都会映射到低空空域的时空网格上形成动态的数据场，成为数字孪生系统的不同数据层。在这样的全数字化框架下，所有低空的空域信息、航路信息、飞行器信息、环境信息、飞行计划、飞行服务以及未来新业务等都可以按照管控和管理部门批准的运行规则，通过智能计算进行精细动态规划、仿真、预测和实施。

4) 全兼容 (All Compatible)

SILAS 系统提供了一个极其灵活的全数字化框架，可以通过实时计算和调度来保障低空飞行器在适航空域内时空不冲突和安全飞行，不论是即时飞行还是计划飞行；也可以保障异构的飞行器在同一空域的以各种运行模式进行融合飞行。然而，空域和航空管理中仍然有很多从传统航空继承下来的运行规则和法律法规，需要在低空飞行中继续遵循和维护。由于在低空经济发展的不同阶段，运行规则也会逐渐演变，全数字化的 SILAS 系统需要既能对现在已有的运行规则提供全部支持，同时在未来新的飞行规则出行时，亦能提供全面的支持，而不需要对整个系统进行重构。对所有飞行规则的全兼容是 SILAS 全数字化系统的一个重要特点。

5) 全流程 (All Procedures)

SILAS 系统不是简单地对某个关联主体提供某个环节的特定服务，而是能够支持全体关联主体以及整个低空经济的运行全流程。它从空域划设、飞行计划、实际运行到监控和服务，甚至可以对低空经济的宏观管理产业发展、激励鼓励和法律法规提供真实数据依据。另外，它也需要对人类的操作进行监管、预警或干预，防止由于人类的疏忽或者恶意对低空飞行带来安全隐患。它为低空经济安全、高效和低成本运行提供技术支撑，为低空经济各关联主体的业务和管理任务赋能。

“

全数字化 SILAS 系统具有六个特性：全空域、
全因素、全数字、全兼容、全流程和全开放。

”

6) 全开放 (All Open)

SILAS 系统设计为一个可进化的开放框架，除了提供接口和标准使第三方信息提供商和开发者轻松进行集成，还支撑处在不同智能水平（信息化、智能化、自动化、自主化和自进化等）的功能模块混搭在系统中无缝协作。不但促进了新技术的引入和合作伙伴的参与，而且允许快速搭建系统且不断进化，推动低空经济稳步有序地发展。

2.3 小结

本节总结了我们过去一年对低空经济基础设施和 SILAS 系统认知的深化。我们对系统的认知深化概括成一个全数字化 SILAS 系统应该具有的特性：全空域、全因素、全数字、全兼容、全流程和全开放。同时也将全数字化系统赋能的业务拓展到超出低空飞行本身。最后，所有的认知和分析都指向了建设一个全数字化低空系统的必要性和紧迫性。

3 全数字化方案 — SILAS 系统

如第一版白皮书中所提到，深圳市在低空经济发展方面首先发力。在市领导的推动下，深圳已经出台了一系列重要战略规划、实施举措、促进条例等政策法规为低空经济发展提供支持，保驾护航。深圳市委委托粤港澳大湾区数字经济研究院牵头搭建低空智能融合基础设施的“四张网”，项目一期的主要目标是建设内容为低空基础设施的核心系统—SILAS。

虽然 SILAS 系统包括“空联网”、“航路网”和“服务网”等三张“网”，由于篇幅限制，我们在本白皮书将聚焦在 SILAS 数字化和智能化方面的讨论，重点放在“航路网”。同时也指出了与“空联网”硬件部分的接口，以及对“服务网”应用构建方面的支持。

3.1 SILAS 系统 — 低空“大脑”

SILAS 系统作为低空经济的“大脑”，是低空智能融合基础设施的数字化核心，也是建设低空经济精细化管理体系的基础。下面简要介绍 SILAS 系统创新的全数字化框架。

3.1.1 系统理念 — “IP 交换”新框架

传统的空域和飞行管理方法大都依托于航道/航路的概念。由于传统航空的飞行器数量和飞行次数（一般单个空管站同时管控的在空飞行器在“百”架次或者以下的量级）相对来讲，比未来大规模低空飞行（一般一个城市同时在空的飞行器在“万”架次或者更多的量级）要低至少两个量级，所以传统航空依托规划好的常规固定航道/航路进行空域和飞行管理效率会更高。而对于低空经济中的大规模飞行，飞行器所使用航路的覆盖空域的范围更大，如果基于传统理念，即所有飞行器完全按照预先设定的航道/航路飞行，航道/航路密度会极高，间距空隙也会很小，影响飞行安全与效率。在这种情况下，SILAS 将低空空域作为一个整体考虑，将其转变为可计算的数字化空域，突破传统空域与飞行管理的航路概念，适应低



SILAS 将低空空域作为一个整体考虑，将其转变为可计算的数字化空域，突破传统空域与飞行管理的航路概念，适应低空经济发展需要，创新地对时空资源（而非仅对空间资源）进行联合管理和调度，提供更多维度的优化，提高空域使用效率。



空经济发展需要，创新地对时空资源（而非仅对空间资源）进行联合管理和调度，提供更多维度的优化，提高空域使用效率。

我们可以从电信领域的电话交换机发展历史为例，比较形象地解释这个概念。电话交换机早期是“线路交换”，即接线员根据用户的指令或拨号指令，通过线路插拔转接或继电器转换，接通用户的目标电话机。后来，随着电话数量的大幅增长，人工接线员的操作已经不能适应快速转接的需求，于是就出现了“程控交换”。程控交换机接受用户的指令，根据预设的程序，指挥交换机的逻辑控制电路，将线路自动切换到目标电话机。再后来，随着电话用户的大幅度增长，程控交换机也变得越来越复杂，甚至变得不可实现。随着 IP 数据网络的发展，以语音数据包形式出现的“IP 交换”技术极大地提升了电话交换机的灵活性、效率和系统容量，同时也允许不同物理线路、不同传输介质（有线或无线）、不同标准的电话终端都可以通过 IP 网络随时连接通话。

表 3.1 空域和飞行管理范式进化表

支持容量/效率	小/低	大/高	超大/极高
空域/飞行管理范式	传统：基于航线的人工管理（百架次）	AAM：基于航线的自动管理（千架次）	SILAS：基于数字化空域的智能管理（万架次+）
类比领域：电话交换机	线路交换：手工/拨号	程控交换：程序控制	IP 交换：网络管理

当前，虽然世界各国都在研究发展低空经济，且取得了一定成果，比如美国的 UAM、AAM 等，但是大部分空域管理和飞行管理技术还是在基于

传统航路的框架下的信息化扩展，可以形象地比喻为还处在“程控交换”时代（表 3.1）。

打造低空经济的“IP 交换”新框架，建设一个未来发展有保证的 SILAS 系统，是历史赋予我们的使命，也是我们的职责。

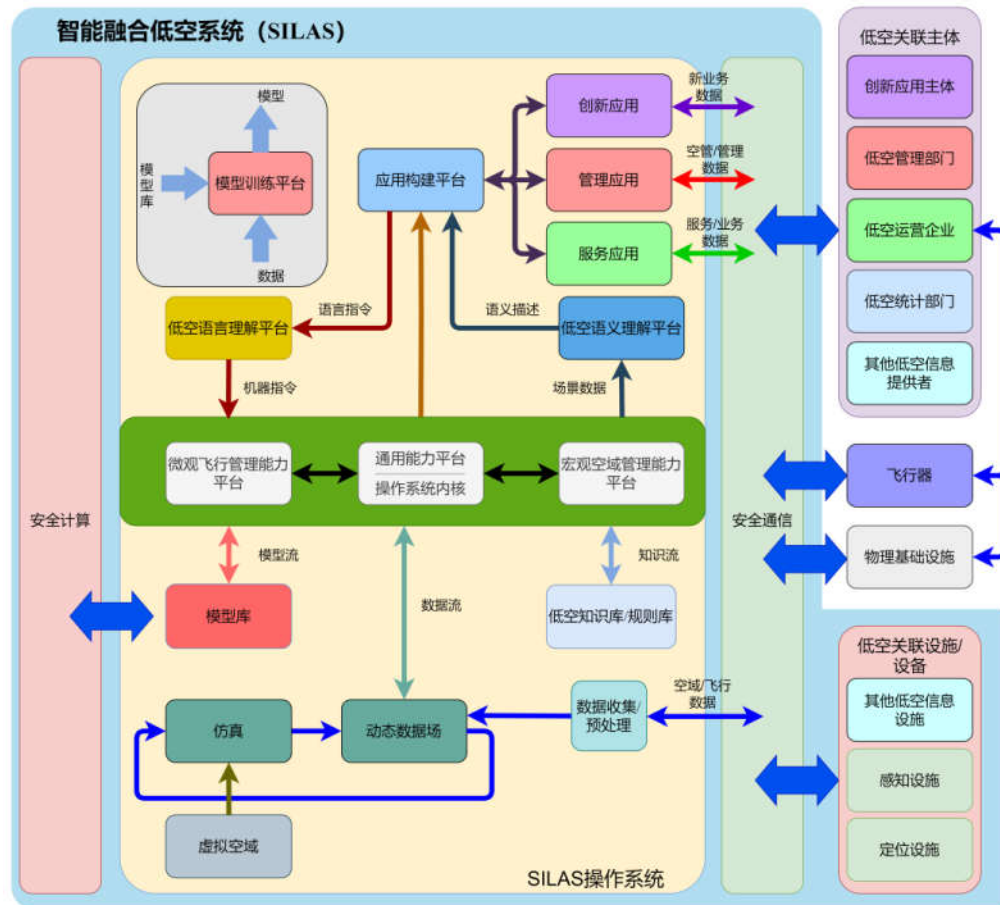


图 3.1 全数字化 SILAS 系统框架（来源：IDEA 研究院）

3.1.2 系统概述

SILAS 系统采用数据驱动的技术路线，从数据底座向上延展到空域管理和飞行管理能力，进而构建各低空关联主体所需要的应用，赋能各自的管理职责或业务程序(图 3.1)。

数据底座基于各自空域信息感知设施、各个正在运行的合作飞行器和其他信息提供方提供的关于空域的所有空域规划信息、空域环境信息、空中交通信息、对应的地面环境和人文信息等，构建低空动态数据场。称其为数据场的核心原因是所有提供给系统的信息，都具有 4 维时空坐标，映射到 3 维空间+1 维时间上就是一个物理上“场”的概念。用“场”来描述数据，隐含了动态性，更强调其时空特性。

除了源源不断地实时传送到当前数据场的外部信息数据外，数据底座还通过智能仿真来预测未来一段时间内的数据场的数据变化，从而形成一个混合动态数据场，并随着时间推移不断迭代和更新。动态数据场是后面的空域和飞行管理能力的基础和数据来源。

通过动态数据场，我们掌握了过去、当前和未来空域和飞行活动的所有状态。我们可以根据低空知识库和规则库的指引，获得可利用的低空空域的时空资源，通过操作系统内核的调度和管理能力，构建宏观（全局）空域管理能力、微观（具体）飞行管理能力。

其中，操作系统内核提供核心的时空资源和时空进程的管理和调度功能，是数字化空域与飞行管理的创新方法的核心和基础。

宏观空域管理能力面向的是整个空域的状态、态势和飞行活动全局的管理能力，是空域动态时空资源的管理者。宏观空域管理能力还包括空域划分和分配、航道规划和分配等静态或者缓变的任务。

微观飞行管理能力则是负责一个飞行任务从开始到结束的全过程。它包括飞行前的计划申请审批、起降管理；飞行中的飞行情报、监测、预测和调整（包括异常处理）；飞行后数据回溯、分析和时空资源（空域或航道）释放等。

我们可以直观地把宏观空域管理能力平台对应一个导航系统的“全局后台”，不管有没有车或人在路上使用导航系统，它都会不断更新和演进；而微观飞行管理能力系统则是导航系统服务的一个“具体实例”，它负责一个行程从开始到结束的全过程，会根据这个实例的目的需求和具体交通方式（飞行器），结合当前全域具体情况规划路径、对周边环境提出警示、并在飞行过程中实时进行信息更新与必要协调修正。

在建立了宏观和微观的管理能力之后，上层的平台可以根据低空经济各关联主体的需求，构建相应的管理或服务应用，为其提供其管理或业务任务所需的数据、能力、服务或者流程。

至此，以上的功能组合在一起构建了 SILAS 系统的核心 SILAS 操作系统(SILAS OS)。这里只是简单地描述了 SILAS 系统基于数据驱动的工作流程。其中值得注意的是，由于低空飞行的安全性至关重要，我们对敏感数据的通信和计算会采用严格的安全通信和可信计算框架。

3.2 技术与创新

SILAS 系统是一个低空空域和飞行管理方法论上的突破，没有其他已有的系统做参考。这也意味着很多技术需要探索和创新，系统也需要从零开始构建。

幸运的是，近年来，人工智能技术的发展为我们提供了很多核心技术能力如生成式 AI、神经场技术等，允许我们在构建 SILAS 系统的时候，可以充分利用这些最新的基础技术，研发出系统所需要的技术与创新，打造出一个最先进的 SILAS 系统。

SILAS 系统的十个核心创新点总结如下。

- 1) 基于时空资源与进程管理的 SILAS 操作系统与内核 (SILAS OS & Kernel based on Time-Space Resources and Processes Management)
- 2) 智能仿真平台 (AI-based Simulation Platform)
- 3) 宏观空域管理平台 (Macro-scale Air Space Management Platform)
- 4) 微观飞行管理平台 (Micro-scale Flight Management Platform)
- 5) 低空语义理解平台 (Semantics Understanding Platform for Low-Altitude Domain)
- 6) 低空语言理解平台 (Language Understanding Platform for Low-Altitude Domain)
- 7) 虚拟空域平台 (Virtual Air Space Platform)
- 8) 运行规则描述语言 (Operating Rules Description Language, ORDL)

- 9) 开放进化式架构 (Open Evolutionary Architecture)
- 10) 数字空域和飞行管理的系列标准规则 (Digital Airspace and Flight Management Standards & Rules Family)

下面我们对这些核心技术和平台进行简短的介绍。

3.2.1 基于时空资源与进程管理的 SILAS 操作系统与内核

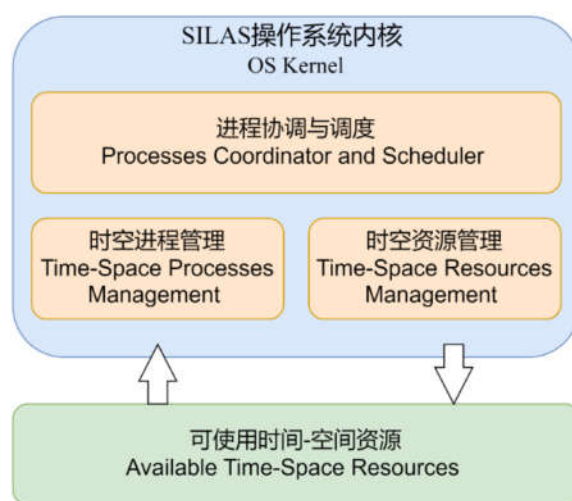


图 3.2 SILAS 操作系统内核 （来源：IDEA 研究院）

SILAS 系统的核心是 SILAS 操作系统。SILAS 操作系统是低空空域安全高效运营的关键，是低空运行的核心管理者。它上连业务应用，下连算力（端边云）、CNS+X（通导感+其他）硬件设施和其他物理基础设施。业务应用依赖于 SILAS 操作系统提供的时空资源、服务和数据。算力、通导感（通信、导航和感知）网络、物理基础设施依赖于 SILAS 操作系统的管理，包括算力的管理和调度，数据交换、通信、传输和初步处理，以及物理基础设施的管理和调度。

SILAS 操作系统提供开放的平台和统一的标准。它为不同厂家的低空信息和物理基础设施，为不同的 SILAS 系统用户和关联方，为不同低空飞行器提供一个开放平台。它统一了与底层硬件基础设施的接口规范、与各飞行器、与各关联方的服务接口规范，以及系统能力平台与应用构建平台

的接口规范，使得技术提供方可以在统一的平台上验证和接入其技术方案，应用构建方可以更便捷高效的构建相关低空应用。

SILAS 操作系统的内核（Kernel）是 SILAS 操作系统对低空空域和飞行管理的创新方法的核心（图 3.2）。内核将低空空域和飞行管理抽象转化为数字化的低空时空资源与时空进程的管理和调度，支持高密度飞行场景下对时空资源与飞行进程的精细化管理，同时支持不同类型的低空业务共享空域。它将低空空域当作一个动态整体，面向异构的低空业务与大规模飞行活动，智能化实时动态管理飞行活动；将低空空域变为通用共享资源，供各类低空应用共享使用；在保证安全的前提下，最大限度提高空域的利用率，使低空经济的规模化运行成为可能。

SILAS 操作系统内核可以兼容现在与未来飞行规则和飞行模式。由于它是基于数字化的时空资源和时空进程管理而设计的，通过简单地调整相应的管理策略，SILAS 操作系统内核就可以很容易地支持已有空域和飞行规则及未来更加灵活的智能规则。向前，可以进化支持未来更加灵活的基于可用时空资源的规则（智能飞行）的先进飞行模式；向后，通过设定限制条件，可以退化支持基于已有规则（目视飞行、仪表飞行和数字飞行等）的传统飞行模式。

SILAS 操作系统内核对时空资源的数字化、智能化表示与管理的独特构建，高度依赖最先进的人工智能技术和高效的系统规划和优化技术，将有效支撑规模化、自动化、智能化的低空管理及应用。

SILAS 操作系统的其它关键模块，将在后面的段落简单介绍。

3.2.2 智能仿真平台

SILAS 系统采用一个数据驱动的方案。除了外部信息数据源源不断地实时传送到当前数据场之外，数据底座还根据过去和现在的数据，通过模拟仿真来预测未来一段时间内数据场的数据变化，从而形成一个既有过去和现在实际数据，又有未来预测数据的混合动态数据场，并随着时间推移，不断迭代和更新（图 3.3）。动态数据场是随后的空域和飞行管理能力的基础和数据来源。从动态数据场中，我们能获得可用空域信息、空域态势、

飞行活动态势等重要信息。

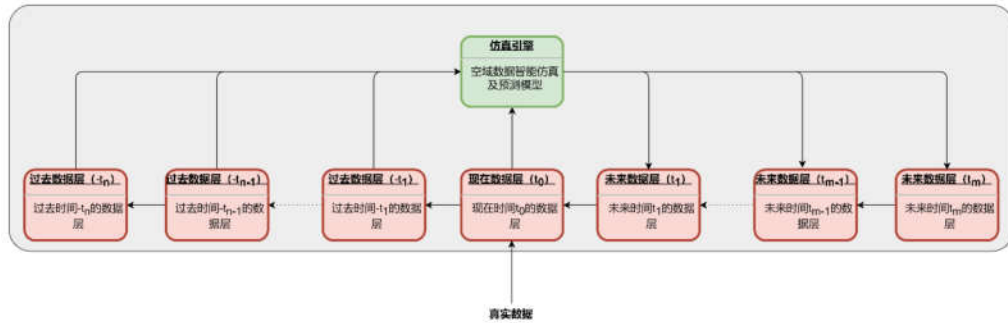


图 3.3 智能仿真平台（来源：IDEA 研究院）

值得注意的是数据的模拟、仿真和预测并不是一件容易的事情。针对每一类数据都需要建立与之对应精准的智能模型才能保证预测和仿真的准确度，可能需要与之对应的物理模型、数学模型、功能模型或者智能模型。

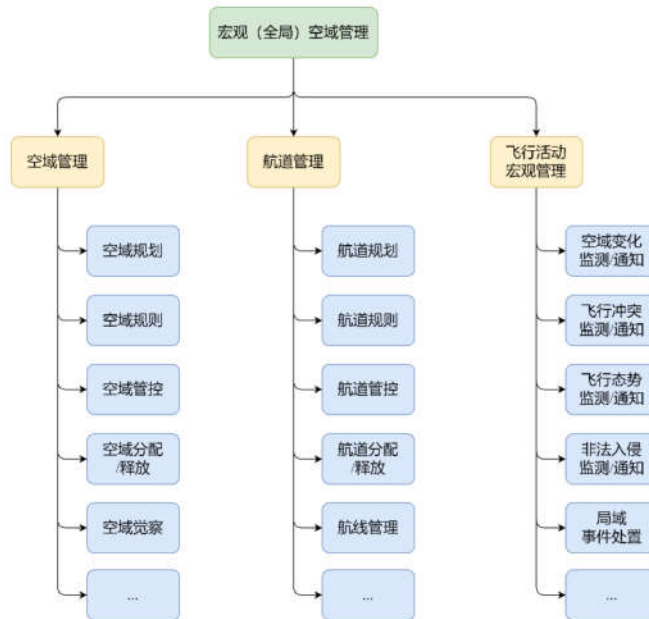


图 3.4 宏观（全局）空域管理平台（来源：IDEA 研究院）

3.2.3 宏观空域管理平台

基于 SILAS 操作系统内核提供的时空资源和时空进程的管理和调度

能力，SILAS 操作系统可以提供宏观（全局）空域管理能力（图 3.4）。宏观空域管理能力面向的是整个空域的状态、态势和飞行活动的管理能力，是空域动态时空资源的管理者。宏观空域管理平台具有动态管理大规模实时飞行过程的能力。根据运行规则、飞行计划、环境信息、空中交通信息等，它在执行不同任务、具有不同优先级的低空飞行器之间合理分配时空资源，在保证时空资源不发生冲突的前提下，提高空域的使用效率，增加同时在空飞行器的密度。

宏观空域管理平台提供空域管理、航道管理、宏观飞行活动管理等能力。对空域管理：它提供空域规划、空域管控、空域分配和释放、空域觉察和空域规则实施监控等能力。对航道管理：它提供航道规划、航道管控、航道分配和释放、航线管理以及航道规则实施监控等能力。对飞行活动：它提供空域变化、飞行冲突、飞行态势、非法入侵等监测能力，并及时通知可能受影响的飞行器，同时尽最大努力将空域和航线的调整 and 变化限制在局部，而不引起更大范围的变动，保证整个空域和受影响的飞行器的安全。

宏观空域管理还包括空域划分、航道规划等静态或者缓变的任务。如前所述，即使可以实时规划一条自由飞航线，但如果同时飞行的飞行器数目增加，系统为了保障飞行安全和飞行质量所需要花费的算力将会是巨大的。另一方面，低空经济的总体规模是缓慢提升且总体可控可预测的，在基于当前阶段的特定规模下，如果事先能对适航航道按照安全、高效和低成本的原则进行规划并固化，且后续的飞行计划大都沿循这样固化的航道进行飞行或者局部优化，则系统算力的支出将会大大减少。

另外，宏观空域管理平台负责整个空域所有相关联数据的实时更新。即使没有飞行活动，它也会执行对不同空域的边界和性质变化感知、态势感知、环境变化感知和预警等任务，确保整个低空空域的所有数据都是实时的、最新的、最真实的数据，这类似地面导航系统的后台路面交通数据的更新。

3.2.4 微观飞行管理平台

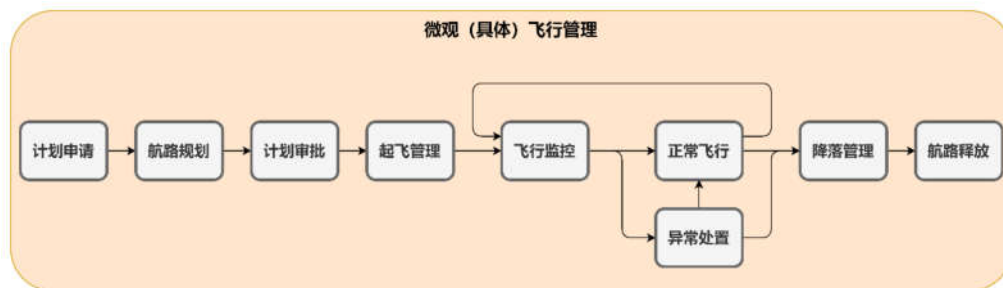


图 3.5 微观（具体）飞行管理平台 （来源：IDEA 研究院）

SILAS 操作系统提供微观（具体）飞行管理能力（图 3.5），对具体飞行任务全过程的安全运行提供保障能力，对飞行前、飞行中、飞行后以及起降的过程提供飞行情报服务；对飞行过程提供监测、预测、预警和突发情况处置能力。结合宏观空域管理能力，能够针对各种突发情况主动解除空中冲突，引导问题飞行器调整飞行计划或者安全着陆，将产生的影响控制在局部解决，而不引起整个空域的重大变化。

全数字化的微观飞行管理平台会为飞行计划的实施执行过程中提供很多常规系统所不具有的能力。

对计划申请：平台会根据用户需求，检查申请空域或者航路是否被占用。如果有冲突，平台会建议一个备选方案。

对航路规划：平台会根据用户要求，设计出一个最符合用户需求的航路，比如时间最短、耗能最低或者风险最小的航路。进一步，平台会将设定航路根据对飞行时各种情况的预测，事先进行仿真，预测出飞行时可能存在的风险因素，供用户或者空管部门审批时参考。另外，在航路规划时，还需要同时考虑可能的返航航路和紧急降落航路。

对计划审批：平台不是简单地将用户需求转发给空管部门审批，而是将更多的相关信息，如仿真信息、智能预判信息等，如实提供给空管部门，以便空管部门可以基于数据做出更合理的决策。

对起飞管理：平台会与起飞场地的数据系统打通，综合考虑起降场空域的各种情况，与场地协调和调度多架次的起飞、降落任务，保证飞行器

的起飞安全。

对飞行监控：平台会利用飞行器实时报送信息、信息基础设施感知信息等，以及宏观空域管理平台提供的空域环境信息和空中交通信息，对飞行器的各种状态进行实时监控。更进一步，平台会根据仿真和模拟数据，对飞行器未来路径上可能出现的风险进行预测，预先对可能产生的风险进行避让，防患于未然。

对异常处置：如果飞行航路发现异常或者风险，平台可以联合宏观空域管理平台对飞行航路进行局部调整。如果飞行器本身出现故障，不能保证继续正常飞行时，平台还将指导飞行器返航或者紧急降落到安全地带。通常情况下，飞行器的航路（包括返航和紧急备降航路）信息会在通信链路良好的情况下，下载到飞行器本体缓存。

对降落管理：与起飞管理一样，平台需要综合考虑场地的空域情况，调度场地的多架次的起飞降落任务安全降落，并根据场地繁忙程度指挥飞行器的进场顺序和节奏。

对空域与航路释放：在完成飞行任务后，平台需要及时释放所占用的空域与航路，让时空资源返回到空域的资源池里，以便后续的飞行任务复用宝贵的空域资源。

至此，我们看到全数字化的系统会为飞行管理也带来了更精细化、更安全的解决方案。

值得注意的是未来的飞行模式必然是多种多样的，包括计划飞行、即时飞行、自由飞行、紧急飞行等。微观飞行管理平台必须能服务所有的飞行模式，且能够给融合飞行模式提高同样的安全保障和服务。

3.2.5 低空语义理解平台

规模化的低空飞行带来了很多管理上的挑战，依靠传统的人工方式进行管理无法适应低空经济发展的需要，人类操作员难以只靠眼睛就能从三维航图等原始数据里发现空域和飞行可能出现的问题。数字化和智能化技术的发展和引入，为低空飞行的管理和服务带来了新的利器。

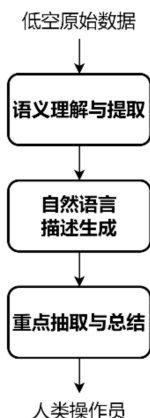


图 3.6 低空语义理解平台（来源：IDEA 研究院）

低空语义理解平台（图 3.6）利用最新的人工智能技术，从各种低空原始数据中理解其可能对空域和飞行产生影响的高层语义，比如飞行冲突、气象变化、非法飞行器入侵、飞行风险等，生成人类能理解的自然语言描述报告给人类操作员，同时也能从繁杂的各种信息中，根据可能对空域和飞行造成影响的严重程度，分优先级地提取其中重要的信息形成简短的总结，以便人类操作员能对这些状况进行快速处置。

低空语义理解平台提供了对空域数据理解、自然语言报告生成、以及信息提炼与总结的能力，虽然看起来为人类提供了一个自然交互的界面，但远远超过了传统的自然交互的范畴。

3.2.6 低空语言理解平台

从另一个角度来看，规模化的低空飞行和复杂的空域管理也对人类操作者的指挥带来了诸多挑战。低空空域管理也不能再依靠鼠标和键盘进行简单的处理，而是需要更丰富、更直观和更宏观的命令或指令对整个低空空域和飞行进行有效管理。这就需要一个低空语言理解平台（图 3.7），能理解人类用自然语言发出的指令，并将人类指令分解成机器指令，让操作系统执行相应的程序以完成人类的指令。

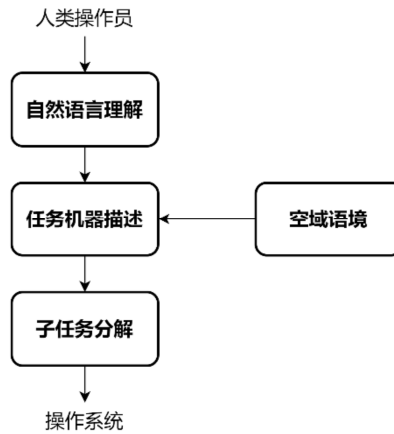


图 3.7 低空语言理解平台（来源：IDEA 研究院）

例如，“暂停 X 飞行器所经航路上的所有其他飞行任务，保障其优先飞行权利。”可以将语言命令和具体低空语境相结合，分解成若干个操作系统可以执行的子任务，按序逐步完成人类操作员的指令意图，而不需要人类操作员来手工规划所有的操作细节。

低空语言理解平台可以大大提高人类操作员的工作效率和管理指令的时效性。

3.2.7 虚拟空域平台



图 3.8 虚拟空域平台（来源：IDEA 研究院）

全数字化系统带来的另一个好处是可以在虚拟环境里对各种飞行任务、飞行规则、空域划分、空域管理、空域规则、航道划分、航道管理等进行模拟，验证其正确性与可靠性后再进行真实环境测试。此外，也可以采用虚实结合的方法对飞行器性能、各种地面物理基础设施和信息基础设施

施的性能进行测试。比如，我们可以在一个空旷的测试场利用数字化技术虚构一个城市场景，使物理飞行器和物理基础设施在其中实际飞行和运行，从而无需在城市实地测试即可获得较多测试结果。

对于这样的应用场景，我们需要一个可以空间移动 (Space-shift) 或时间移动 (Time-Shift) 的虚拟空域平台(图 3.8)。它能够模拟任意时间、任意实际或虚构的空域场景。该平台除了需要模拟具体的物理参数(楼宇、地形、障碍物、地面信息等)，还需要模拟真实的物理模型(气象变化等)，以形成与实际空域环境无限接近的虚拟空域，是我们对空域和飞行管理任务，以及各种预测、追溯、探索和测试任务强有力的支持。我们只需在操作系统中用这个虚拟空域替代真实空域，就可以在虚拟空间里对各种情况进行仿真验证，更好地规划真实空域和飞行任务。虚拟空域平台是操作系统不可或缺的一部分，能够在极大加速系统研发和部署进度的同时大幅降低成本。

3.2.8 开放进化式架构

低空管理和服务（包括低空空域、低空飞行和低空运行管理和服务）是一个新生事物。在初期实现基础功能后，随着规模发展、技术进步、政策法规、飞行规则和运行模式的不断更新，有很多需要持续探索和迭代的地方，涉及到技术、管理和服务等各个方面。这就需要 SILAS 采用进化式架构 (Evolutionary Architecture) 搭建系统。

进化式架构是一种构建软件的方法，旨在随着业务优先级的变化、客户需求的变化和新技术的出现通过逐步增量完善而不断进化的软件系统。它在构建时就充分考虑到未来的变化，可帮助系统更快地适应新需求，并以最低的成本和风险探索新技术。它不需从头重新搭建整个系统，在原有的系统架构中就可以探索最新的技术创新，调整系统适应新的业务优先级和客户需求。

同时，作为一个公共服务技术平台，SILAS 系统需要能随时采纳最新的技术和算法，允许其他技术和算法提供者可以很方便地将最新成果集成到系统中去。因此 SILAS 系统的架构又必须是开放的。

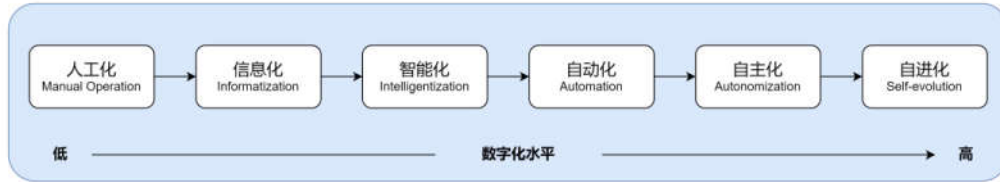


图 3.9 数字化发展的几个主要阶段（来源：IDEA 研究院）

低空功能模块数字化（Digitalization）发展的主要几个阶段如下（图 3.9）：

人工化（Manual-operation）或数字化前（Pre-digitalization）阶段：管服系统主要还是依靠专家设计规则、操作者人工运行的阶段。法律法规、飞行规则和运行规则还停留在主要是传统上专家制定、人工实施为主。在这一阶段，功能模块的设计还是以手工操作为主。

信息化（Informatization）阶段：是数字化的初级阶段。它将低空管服相关的因素转变成可计算的数据形式由计算机来辅助处理或可视化，虽然功能模块还是根据传统的规则由人类来实施和决策，但使用效率得以提升。

智能化（Intelligentization）阶段：在这一阶段，在数据化的基础上，利用产生和收集的数据，依托已有的传统规则，利用人工智能算法，辅助人类优化空域规划、航路设计和飞行计划，提升功能模块的效率和安全性。

自动化（Automation）阶段：在智能化的基础上，自动化是指功能模块可以根据预先设计好的规则、流程和方案，大部分情况下可以不依靠人类介入就能自动有序安全地运行；但对突发变化缺少应变能力，还需要人类介入协同处理。

自主化（Autonomization）阶段：在自动化的基础上，自主化则是指在出现突发情况下，功能模块能自主地进行合理安全的处理。

自进化（Self-evolution）阶段：自进化阶段是功能模块的最高级阶段。在自主化的基础上，它能根据积累的数据，智能地生成并更新更优化的规则和流程，同时能自动实施这些规则和流程，并自主运行。

目前低空的管理和服务水平还停留在信息化阶段，需要专家设计规则、操作者人工运行，数字化技术水平还很初级，智能化、自动化、自主化和自进化等发展进程刚开始或者尚未开始。不同的功能模块发展参差不齐，可能停留在不同的数字化发展阶段。很显然，开放进化式架构可以支持不同发展阶段的功能模块（包括还处在人工手动操作阶段的模块）能同时在 SILAS 系统里共存且互相无缝协作。这种架构设计保证了 SILAS 系统既能利用目前成熟的技术，也更容易集成未来更先进的技术进展，同时使得 SILAS 可以通过“浸润”的方式进行部署（即无需彻底推翻现有的系统，而是一个渐进式的系统切换过程），逐步提升整个低空系统的效率和安全，发挥其优势。

3.2.9 运行规则描述语言

低空经济正处在发展初期，很多运行规则还在探索。为了保证 SILAS 系统对过去和未来运行规则的兼容性，SILAS 系统提出了一种运行规则描述语言(Operating Rules Description Language, ORDL)，用来统一规范各种规则的准确性和完整性，包括空域使用规则、航路划分规则、优先级规则、飞行规则、冲突解除规则、起降规则等，用以快速适应新的规则变化而不需要重新构建 SILAS 系统。ORDL 作为一个中间媒介也便于实现从传统人工规则到数字化规则、自动化规则、自主化规则和自进化规则的无缝演变。

低空规则体系构建起来极为复杂，且不断演进，未来需要支持不同飞行器、不同业务、不同飞行模式在同一空域的融合飞行，需要宏观空域规则（空域划设和使用）、宏观飞行规则（航路航线划设）、微观飞行规则（航路内的交通规则）、起降规则、飞行器规则以及突发情况和冲突情况下的处置规则等紧密配合才能保障整个低空空域的有序性和安全性。而这个演进过程还涉及到 SILAS 系统对飞行活动的支持和服务程度，尤其是需要考虑计算资源和固化规则之间、低空系统规则和飞行器自主能力的平衡和优化。这就进一步要求规则的制定和实施需要具有高度的智能化和自进化，保证低空飞行的灵活性、适应性、安全性和高效性。

3.2.10 数字空域和飞行管理的系列标准规则

我们以大量低空应用为牵引，面向真实场景，将建设一系列统一的低空运行的规则与标准，通过统一行业规范，降低市场进入门槛，促进低空经济的创新高效发展。

SILAS 系统为不同厂家的低空信息和物理基础设施、为不同的 SILAS 系统用户和关联方、为不同低空飞行器建立了开放平台。SILAS 统一了与底层硬件基础设施的接口规范、与飞行器的接口规范、与各关联方的服务接口规范、以及系统能力模块与应用模块的接口规范，使得技术提供方可以在统一的平台上验证和接入其技术方案，应用使用方可以更方便高效的使用相关低空应用。统一的标准是降低各种基础设施的建设成本、各种飞行器的制造成本、各种低空管理和服务业务的运营成本的关键；也是空中资源、地面资源、基础设施资源公平共享的关键。

同时，虽然全数字化的 SILAS 系统可以根据需求随时调整空域、航道和航路的使用，调整具体的飞行计划适应空域和环境的变化，指令飞行器随时按照特定地的飞行模式飞行，但这些太过自由的操作是以花耗大量的系统资源和飞行资源为代价。实际的空域管理和飞行管理还必须依靠大量的标准规则运行。这不但可以节省大量的计算资源，让系统有效地稳定地运营，同时也可以保证在 SILAS 系统在极小概率出现状况时，仍然能按照预设的规则标准有序运行，而不会造成系统级失败。

低空相关规则和标准的建设将基于行业应用和 SILAS 系统产生的大量真实数据，通过与行业标准组织、行业协会和研究机构共同合作快速形成地方性的标准，并推动相应行业标准和国家标准体系的建立，惠及全国。鉴于发达国家基础设施建设的决策困难、速度缓慢，这样一些有大量真实数据支撑的标准体系也将领先世界。

具体的标准体系包括服务标准、用户标准及运行标准等三大类。

1. 服务标准。用以规范低空服务的供应商和运营商，明确低空服务应达到的能力指标，确保整个低空经济领域的运行更加安全、高效和可靠。服务标准体系包括：物理基础设施标准、信息基础设施

施标准、空中基础设施标准、低空飞行环境服务标准、空中交通服务标准、安全评估标准等覆盖多种服务类别与设施的标准等。

2. 用户标准。用以规范低空业务运营用户，是低空用户的准入标准，对低空运营者提出能力上的各种基本要求，以确保整个低空生态系统的稳定和安全。包括：飞行器标准、运营能力标准、驾驶员标准等。
3. 运行标准。制定一套全面而细致的行为规范，适用于各管理部门、管服系统和业务运行用户。这些标准将作为低空业务运行的基础，确保所有参与方能在一个统一和安全的框架下进行操作，包括：业务监管信息交互标准、空域构型和航路划设计标准、低空飞行规则等（空中冲突解除规则、空域优先使用规则、间隔规则与标准、空中避让规则、航线使用规则、自主飞行规则等）。

这些标准将作为低空业务运行的基础，确保所有参与方能在一个统一和安全的框架下进行操作。

3.3 实施方案

全数字化的 SILAS 系统是一个复杂的大系统。其全部功能的实现和完善不可能一蹴而就，需要分阶段、分步骤进行，同时其智能化需在不断运行中不断打磨和迭代。

由于系统采用了开放的进化式框架，整个系统不需要所有的功能模块全部达到最高的智能化水平就能运行，即使有些功能模块还需要人工操作，SILAS 系统也能在实际低空飞行中发挥作用。

SILAS 系统的建设和实施主要按照以下理念和计划进行。

（一）飞行规模从疏到密

由于建设前期同时在空的低空飞行器数目不多，飞行密度还不小，允许较大的飞行间隔，同时信息基础设施还不完善，感知能力精细度还不够，前期建设的思路基于现有的技术水平，支持已有的飞行规则/系统和业务，打造一个粗放但能发挥其作用的系统，并通过实际运营

不断验证和迭代；随着技术和系统的发展，信息基础设施的建设逐步完善，感知能力逐渐精细化，可以进一步优化、精细化 SILAS 系统，并允许飞行密度逐步递增，在安全可控的前提下快速推进低空经济的规模化。

（二）管服对象从一到众

建设前期，空中低空飞行器数量较少，SILAS 系统将主要聚焦在对单个飞行器以及飞行任务的管理和服务，可以精准地对每一架飞行器甚至自由飞行的飞行器进行个性化和精细化的管理和服；未来，随着在空中飞行器数量激增，自由飞行的比例将会被减少，而更多的飞行任务将是通过制定空中交通规则在预设的航道里进行计划飞行。面对越来越多的飞行器数目，越来越多的飞行器将共享航路，SILAS 系统将从对单个飞行器管理和服拓展到对飞行器群体的去中心化宏观管理和服，以取得空域使用效率和管理服效率的提高，同时也支持个体和群体的混合飞行模式。在这个状态下，处在同一个飞行器群体中的飞行器自身需要具有和其他飞行器的协调和避让能力，微观上不再需要 SILAS 系统提供具体的协调支持。SILAS 对单个飞行器的管理和服现在可以很容易地转变成对一个飞行器群体的服。

（三）系统区域从分到合

SILAS 系统从一开始就设计为一个分布式的系统，基础设施和算力都可以围绕着一个具体的相对较小的区域建设成一个单区子系统。同时，单区的分布式子系统可以自由增删，或者互相连接成更大的系统——从区间性系统协同演变为区域性整体分布联动系统。

SILAS 系统建设采用实验点到试验区到城市全域的路径，边建设、边测试、边完善、边拓展。此外，SILAS 系统不会盲目建设，而是坚持只优先支持有具体低空业务的区域。业务先行的原则，保证系统建成即可被利用产生价值，而不会造成投资的浪费。

在深圳，我们按照“试验点—试验区—全域”有序推进场景落地。鉴于低空经济发展是一项复杂的系统性工程，深圳将采取由点到面的推进方式，依据安全运行保障技术的逐步成熟、低空飞行需求的纵深

发展以及基础设施的逐步落实落地，先进行局部试点探索，待取得经验和达成共识后，再按照试点的做法有序推进场景应用落地。

1. 试验点定位：专注于解决核心技术与场景问题。在 2024 年底前建立试验点，聚焦一系列低空经济发展中已经识别的关键问题，包括飞行规则融合、低空监控体系、特定场景、载人飞行试验、飞行器安全性及运营管理等。
2. 实验区布局：围绕低空需求集中区域部署。计划在 2025 年前，建立 3-4 个主要实验区，覆盖约 110 平方公里范围，实际验证异构、大容量的融合低空飞行在城市中安全运行的可行性。同时，在运行中产生的数据、经验将进一步支撑国家空域管理机构和民航部门设定相关运行标准和规章制度。
3. 全域覆盖推广：全面推动产业的快速扩张。2025 年以后，将推广异构、大容量的运行模式到深圳全域，考验运行规则的正确性、合理性和完整性，监管的自动化水平，以及当前社会交通体系和城市管理体的融合方案。全域覆盖推广的过程也将拉动产业链上下游加速发展，促进更多低空创新企业进入市场，刺激更加丰富的产品和服务。

（四） 整体系统从隔到融

SILAS 系统在设计初期，就考虑到未来空域是一个共享的经济资源，并提出了低空的几大核心问题：如何最大效率地利用空域资源，融合各种飞行器、飞行业务、飞行模式于同一个空域；如何将低空系统融合于整个空域（高、低空）系统；如何最终融合为海陆空一体化系统。SILAS 系统的全数字化方案支持各种飞行模式以及融合飞行，可以对以上核心问题的求出一个局部最优解。值得注意的是，这个最优解是随着低空经济的规模发展而变化的，这也是 SILAS 全数字化系统的一大优势。

在建设初期，飞行器数目较少的情况下，采用传统的隔离飞行模式，可以在保证飞行安全的同时，对 SILAS 系统进行有效验证。而随着飞行器数目越来越多，SILAS 系统可以规划出特定的空域实验融合

飞行模式。等系统将融合飞行的各种规则、机理和管理方式验证成功后，就可以推广融合飞行模式，在保证安全的前提下，最大化提高空域的利用率。

（五）成立 SILAS 系统的国有运营平台，加快 SILAS 系统的建设和迭代

深圳计划在 SILAS 系统建设的同时，组建负责运营 SILAS 系统的国有运营平台。未来连接 SILAS 系统的，既有军队、民航等行业主管部门，交通、公安等地方职能部门以及国有运营平台，还有各类无人驾驶航空器的用户主体。我们需要在政策和法规的支持下，厘清各方参与主体的职责，形成各司其职的良好生态。

一方面，国有运营平台根据行业主管部门授权，依托 SILAS 系统受理低空飞行的市场主体申请，协助行业主管部门做好综合运行管理及监督，包括飞行审批与放行、预警与干预、航空信息和规则信息下发、执法取证等功能，实现深圳范围内对低空活动与数据的“一网统管”。

另一方面，国有运营平台开展 SILAS 系统搭建和运营，推进低空枢纽起降场、通信、导航等配套基础设施建设，为各类市场主体提供全面的数字化、智能化服务，真正发挥低空智能融合基础设施核心枢纽作用，推动形成市场化、法治化、规范化、智能化的低空运维生态体系。

国有运营平台在运营 SILAS 系统的同时，不断积累实际数据和经验，反过来会进一步加快 SILAS 系统的建设和迭代，更快地实现全数字化的 SILAS 系统所承诺的种种功能和优势。

3.4 小结

与任何以往的空域与飞行管理系统不同，SILAS 系统从开始就设计成一个数据驱动的全数字化系统，打破了传统以航路为出发点的管理方法和模式，代表着低空领域的“IP 交换”。由于这是一个新兴领域的前所未有的系统，没有任何其他系统经验可以借鉴参考，我们界定并研发了一系列

关键技术用以支撑 SILAS 系统。这些技术和系统都是建立在最新的人工智能和数字化技术进展的基础上，从理念到实现都具有其独特性、先进性和创新性。配合一个切实可行的实施步骤和方案，SILAS 系统从开始建设的初期就能发挥其作用。随着实际运行数据的不断积累，系统会不断迭代直至最高的智能水平。

4 总结与展望

第二版白皮书《低空经济发展白皮书 2.0—全数字化方案》是在 2022 年发布的第一版《低空经济发展白皮书—深圳方案》的基础上撰写的。如果说第一版白皮书更多的是分享我们对低空经济发展的一些理念和想法，第二版白皮书则是聚焦在一个更具体的全数字化解决方案。

随着数字技术的不断发展，低空经济正迎来前所未有的机遇，从数字航路规划到智能管理和监控系统，数字化正在塑造低空经济的未来。只有全数字化系统才能实现低空经济安全、高效率和低成本的可可持续发展。

此版白皮书不但总结了我们一年多来对低空经济上的认知深化，更是提出了对低空空域和低空飞行全数字化管理的一个颠覆性的新路径。

不同于以往任何的空域和飞行管理系统，SILAS 系统摆脱了以航路为基础的空域和飞行管理思路。依托最先进的数字化和智能化技术，SILAS 用一个崭新的数据驱动的新方法，面向大规模低空飞行活动，对低空空域和飞行活动进行精细化管理。类比于在电信领域带来巨大变革的“IP 交换”，SILAS 系统旨在打造低空领域的“IP 交换”，从理念上是一种面向未来的突破。

白皮书介绍了组成 SILAS 系统的重要创新技术和平台，它们有机地结合成一个统一的系统，实现数据驱动的空域管理和飞行管理，从而适应未来异构、高密度和高频次的规模化低空飞行的需要。

白皮书归纳了一个全数字化系统所具有的特性，强调了系统的开放性、可进化性和可扩展性，为 SILAS 系统的创建、演进和优化提供了切实可行的路径。

白皮书概况性地总结了一年来低空经济领域的政策、应用、飞行器和基础设施等四大要素的进展，向人们充分展示了低空经济发展大潮正扑面而来。

低空经济是一个充满机遇的伟大探索，也是一个充满挑战的前沿领

域。发展低空经济不是一项简单的任务，它为我们打开了通向更安全、更高效、更有经济效益的低空飞行活动的大门。在这个全新数字化的世界中，我们可以充分释放低空空域的潜力，实现更智能、更高效、更便捷的未来。

全数字化方案不仅是一个技术架构的突破，而且更是一个思维范式的转变。在这种思维的指导下，再难的低空经济问题也可分解成可由全数字化系统解决的子问题。

我们正在深圳践行着白皮书提到的理念和方法，建造着智能融合低空系统 SILAS。通过第二版白皮书的发布，希望更多的人能了解我们正在从事的事业，找到一起在低空经济领域合作的机会。

SILAS 是一个庞大复杂的系统，我们欢迎更多单位、更多专家、更多工程师加入我们的合作攻关团队。它的开放特性，允许任何人将好的算法和实现便捷的接入/集成到 SILAS 系统中去测试、验证和迭代。

真诚希望 2024 年的今天，我们会有更多的理念和经验可以和大家分享，也希望那个时候有更多的合作伙伴已经在一起建设 SILAS 系统。

我们坚信一个全数字化的低空方案，代表着未来，代表着前沿，也代表着落地。未来已来！

“
不同于以往任何的空域和飞行管理系统，
SILAS 系统摆脱了以航路为基础的空域和飞行管理思路。依托最先进的数字化和智能化技术，
SILAS 用一个崭新的数据驱动的新方法，面向大规模低空飞行活动，对低空空域和飞行活动进行精细化管理。类比于在电信领域带来巨大变革的“IP 交换”，SILAS 系统旨在打造低空领域的“IP 交换”，从理念上是一种面向未来的突破。
”

致谢

在 IDEA 研究院成立三周年之际，又是我们《低空经济发展白皮书—深圳方案》发布一周年之际，我们发布了《低空经济发展白皮书 2.0—全数字化方案》。

在此衷心感谢帮助我们走进低空、认识低空、探索低空的各界专家。感谢你们为此次撰写工作提供了很多宝贵的意见和建议。白皮书中所表达的理念、愿景、思路和方法都离不开你们在交流中无私分享的经验和洞见。

感谢政府相关部门的指导和鼓励，特别感谢深圳市委财经办、市交通局、市发改委等部门对我们的大力支持。在深圳这片创新创业的热土，来自具有企业家精神的有为政府的政策推动和支持，是激励我们勇闯无人区，探索低空经济全新发展，持续创新的动力。

感谢来自低空经济领域核心企业的参与和支持。特别感谢美团、丰翼科技、东部通航等多家企业。你们的产业实践和行业需求既为白皮书的内容提供了重要数据和内容，也让我们更加坚信低空经济发展的巨大潜力和未来愿景。

感谢我们现在或潜在的合作企业对我们提供强有力的技术、服务和生态支持，特别感谢深城交、腾讯、阿里、华为、中兴、移动、联通等多家头部创新企业，感谢你们提供的宝贵的资源和支持，让我们站在巨人的肩膀上成就低空经济的未来。

最后也特别感谢 IDEA 研究院的很多同事，你们大量的幕后辛勤工作让白皮书 2.0 的撰写和发布成为可能。

About IDEA Beyond ideas，期待与各位同仁继续碰撞思想，一起开拓出低空经济更加美好的明天！您如果有任何关于白皮书相关的意见和建议，以及对未来低空经济发展的好设想，请联系我们(laser@idea.edu.cn)。

白皮书编写组
2023 年 11 月 22 日

编写组成员

沈向洋 李世鹏 李 萌 汤宇清 陈烽文 孙嘉阳 许崇春

参考文献

- [1] 《低空经济发展白皮书—深圳方案》（IDEA 研究院）
- [2] 《深圳市低空经济产业创新发展实施方案（2022-2025 年）》（深圳）
- [3] 《先进空中交通（AAM）协调及领导法案》（美国）
- [4] 《先进空中交通基础设施现代化（AAIM）法案》（美国）
- [5] 《2022 年管理计划：机动性与运输战略》（欧盟）
- [6] 《无人机战略 2.0》（欧盟）
- [7] 《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》（国务院、中央军委）
- [8] 《中华人民共和国空域管理条例（征求意见稿）》（国家空管委）
- [9] 《关于明确〈无人驾驶航空器飞行管理暂行条例〉空中交通管理有关事项的通知（征求意见稿）》（国家空管委）
- [10] 《深圳经济特区低空经济产业促进条例（草案）》（征求意见稿）（深圳）
- [11] 《关于再次推广借鉴深圳综合改革试点创新举措和典型经验的通知》（国家发改委）

关于 IDEA 研究院

粤港澳大湾区数字经济研究院 (International Digital Economy Academy, 简称“IDEA 研究院”) 致力于人工智能和数字经济领域的前沿研究与产业落地，是一家国际化创新型研究机构。我们坚持科技擎天、产业立地，相信最好的研究从需求中来，到需求中去，最终惠及广大企业和受众。

IDEA 低空经济分院

IDEA 低空经济分院 (Lower Airspace Economy Research Institute, LASER Institute) 致力于低空经济以及相关技术研究，通过低空智能融合基础设施的建设，将低空空域数字化成可计算空域，充分发掘低空空域的价值，创建生活工作新范式，开拓经济发展新空间。

联系我们

地址：中国深圳市福田区市花路 5 号长富金茂大厦 1 号楼 3901&57 层

电话：86-755-61610106（3901） 86-755-83219017（57 楼）

邮箱：laser@idea.edu.cn

网站：<https://idea.edu.cn/>

© 2023，粤港澳大湾区数字经济研究院版权所有。

版权声明：除特别注明之外，本白皮书所有内容（包括但不限于文字内容、图片及排版设计等）之著作权均属于粤港澳大湾区数字经济研究院（福田），并受法律保护。未经事先书面许可，任何单位及个人均不得复制、发行或通过任何方式传播本白皮书；经事先书面许可转载、摘编或以其他方式使用本白皮书内容时，应注明“来源：粤港澳大湾区数字经济研究院（福田）”。本白皮书部分信息源自合作方或第三方，如您发现本白皮书使用了您拥有著作权的作品并对此持有异议，请您发送电子邮件至落款邮箱，我们会及时与您联系或采取必要措施。

About IDEA Beyond ideas

