



Research
Novel Methodologies in Air Transportation—Perspective

欧洲单一天空空交通管理研究——欧洲空中交通管理的过去、现在与未来

Tatjana Bolić^{a,*}, Paul Ravenhill^b

^a University of Westminster, London NW1 5LS, UK

^b Think Research Ltd., Poole BH12 1ED, UK

ARTICLE INFO

Article history:

Received 21 April 2020

Revised 12 June 2020

Accepted 4 August 2020

Available online 3 March 2021

关键词

欧洲单一天空空交通管理研究
(SESAR)

空中交通管理 (ATM)

欧洲单一天空

空中交通管理研究和开发

空中交通管理解决方案

部署

摘要

欧洲单一天空空交通管理研究 (SESAR) 项目是欧盟委员会欧洲单一天空倡议的技术支柱, 旨在实现空中交通管理 (ATM) 的现代化。在本文中, 我们介绍了 SESAR 的建立过程和该项目的主要部分: 研发部分 (由 SESAR 联合执行)、部署部分 (由 SESAR 部署管理方管理), 以及欧洲空中交通管理总体规划 (汇集并说明了各种研发和部署需求)。在新冠肺炎疫情暴发前不久, 实施了最新的欧洲空中交通管理总体规划。疫情给空中交通造成了巨大损失, 航空业的恢复也需要时间, 为此需要重新确定工作的优先级, 最主要的工作内容仍然是与环境相关。

© 2021 THE AUTHORS. Published by Elsevier LTD on behalf of Chinese Academy of Engineering and Higher Education Press Limited Company This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. 引言

内部市场中人员和货物的自由流动是欧盟 (EU) 社会和经济的基石, 因为流动性确保了各成员国的经济、社会和领土凝聚力。空中交通管理 (ATM) 是航空运输模式机动性的保证, 它汇集了所需的空中和地面功能, 旨在确保飞机在各个运行阶段内的安全和高效移动 [1]。在欧洲, 空中交通管理是由各国的空中航行服务提供商 (ANSP) 在本国境内提供的。在整个欧洲范围内, 这些国家的空中交通管理系统接入欧洲空

中航行安全组织网络管理机构, 旨在增大交通流、提高交通的可预测性和扩大网络容量, 其中的网络包括欧盟和非欧盟国家[†]。

为了了解欧洲当前 (以及未来) 的空中交通管理研究环境, 有必要简要地回顾过去并展望未来的发展。图 1 描述了由于空域容量不足而导致的交通流和航路延误的演变情况, 以及过去 30 年中对重大延误作出的主要对策。20 世纪 80 年代末的延误问题[‡] [2] (本文中未述及) 促使欧洲空中航行安全组织在其内部成立了中央流量管理小组^{††} (CFMU), 以及成功地实施了“缩小垂直

* Corresponding author.

E-mail address: t.bolic@westminster.ac.uk (T. Bolić).

[†] EUROCONTROL is an intergovernmental organization with 41 member states and two states with the Comprehensive Agreement.

[‡] In 1988, 20% of traffic, and 25% in 1989 was delayed mainly due to infrastructure congestion, see Ref. [2].

^{††} Provides Air Traffic Flow Management across Europe and is now a central part of the Network Manager, changing the name to Network Manager Operations Centre.

间隔”和基本区域导航，提高了空域容量。20世纪90年代末，航班延误问题达到了高峰，由此管理人员提出了“欧洲单一天空”倡议，并于2004年发布了首个相关法规。“欧洲单一天空”倡议旨在改革欧洲空中交通管理的架构，在欧洲范围内（而非地区范围内）解决问题并通过立法手段满足未来的空域容量和安全需求。到了21世纪初期，空中交通拥挤和延误问题仍在加剧。在不久的将来，将不可避免地发生延误危机。与此同时，决策者和利益相关方也不相信存在着可以解决该问题的技术方案。在这一形势下，欧洲单一天空空中交通管理研究（SESAR）项目于2008年诞生。SESAR以“欧洲单一天空”第二个立法计划为基础，并成为五大支柱之一：

- 第一支柱以规范ANSP的行为为基础，通过行为监督强化网络管理功能；

- 第二支柱通过欧洲航空安全局（EASA）建立了一体化安全架构；

- 第三支柱通过SESAR项目确定、开发和部署提高空中交通管理性能所需的技术和程序，从而提供新的空中交通管理技术；

- 第四支柱加强了机场交通容量管理，使之匹配航空运输能力；

- 第五支柱确保各种变化能够为运行人员所接受，从而解决了人的问题。

“欧洲单一天空”及其五大支柱营造了有利环境，在分离管理的环境下，这一方案加快了研究、开发和部署的进程。尽管如此，在2018年，仍然发生了多起重大延误事件。空域结构研究（AAS）[3]在SESAR联合执行体（JU）研究结果的基础上确定了解决方案并明确其实施模式，希望解决容量和需求失衡的问题，从而为探索新的范式和研究方向奠定基础。

虽然这些举措可以应对重大延误情况，但由于经济

和自然灾害导致空域容量的减少使得空中交通管理的实际变革存在着限制。如图2 [4]所示，最近的灾害（迄今为止对欧洲空中交通影响最大的灾害）是2019年的新冠肺炎疫情。

空域容量未能满足交通流增大的需求是延误的原因，而延误反过来也激发了某些应对措施。那些不可预见的外部事件，使得交通流减少，从而降低延误的发生，而这导致决策者需要重新调整应对措施的优先级。

以图1和图2中提到的事件和应对措施为背景，我们将介绍和分析我们的主题：SESAR项目及其成果、实施情况和未来的发展方向。

2. 欧洲单一天空空中交通管理研究

为了解决日益严峻的空中交通延误问题以及满足新型空中交通管理解决方案的需求[†]，在欧洲单一天空空中交通管理研究定义阶段（具体见下文）圆满结束

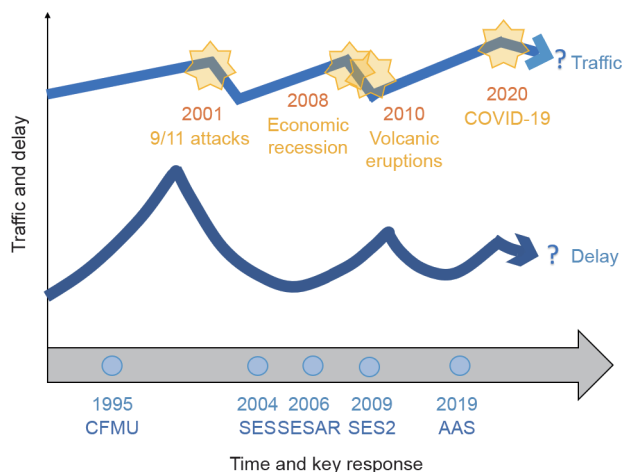


图1. 欧洲地区交通流和延误的演变，以及导致延误降低的关键事件。来源：EUROCONTROL traffic and delay statistics。

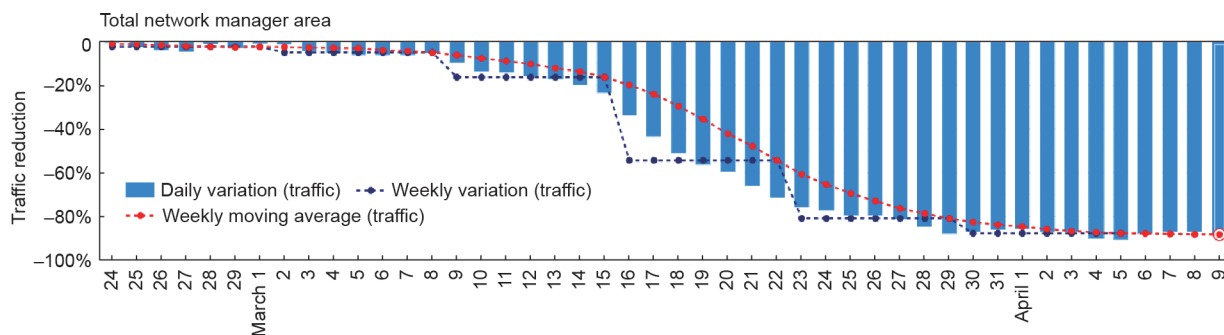


图2. 2020年欧洲的日交通变化量。

[†] ATM solution represents a change in the way ATM is performed. ATM solutions are new operational concepts, procedures and relevant technologies.

后，欧洲理事会第219/2007号条例正式启动了SESAR项目[5]。该条例提出了一项重要目标，即整合和协调欧盟以往分散的、各自为战的研发活动，避免重复的研发（R&D）活动。

因此，虽然整个欧洲和欧洲各个国家都在同时开展重要的空中交通管理研发工作，但在如何进一步发展（即从较低的技术准备水平升级到较高的技术准备水平）并最终实施研究成果方面决策者没有共同的计划。此外，关于如何对整体网络情况改进（非偏重于局部改进）的问题，就更加不确定了。从某种意义上说，由于空中交通管理研究工作是分散的，因此对于未来欧洲空中交通管理也将是彼此相争而缺乏共性的。

因此，为了促使所有的欧洲空中交通管理研究工作朝着一个共同的目标前进，第219/2007号条例[5]提出了SESAR项目的三个阶段，每个阶段分别由不同的团体领导。

- “定义阶段”由SESAR集团负责（2005—2008年）[†]，目标是到2008年时出台欧洲空中交通管理总体规划（MP）。该总体规划旨在为欧洲的空中交通管理解决方案提出一份研究、开发和部署计划，以实现“欧洲单一天空”的目标。

- 在“开发阶段”，需要开发和验证所需的空中交通管理解决方案。这一阶段的工作由SESAR联合执行体负责（2008—2013年）。该组织是根据本条例建立的一个公私合作的组织。

- 在“部署阶段”，将大规模推出和实施经过验证的空中交通管理解决方案（2014—2020年）。

在首个总体规划[6]交付后，定义阶段完成。这份规划纳入了空中交通管理研究中。例如，SESAR的运行概念和表现框架就是在EPISODE 3项目的基础上制定的[7]；EMMA项目[8,9]提出了第一个先进表面活动引导与控制系统（A-SMGCS）解决方案；SESAR远程塔台解决方案是基于ART项目[10]提出的；SWIM-SUIT项目[11]则是目前广域信息管理（SWIM）解决方案的前身。

2009年欧盟理事会批准了该总体规划[12]并借此表达了对欧盟成员国在这一方向上开展空中交通管理研究的支持。随后理事会将该总体规划转交给了SESAR联合执行体作为研发活动计划。SESAR联合执行体负责根据最新的发展、优先级研究工作和部署路线图来更新

该总体规划，在此过程中SESAR JU将咨询所有的利益相关方（即ANSP、航空公司、机场、军方等）。

正如SESAR联合执行体的基础条例中所述，研发（以及部署计划）过于乐观。到2013年（预计结束开发阶段的这一年）只有一部分总体规划中的解决方案经过了验证并准备进入开发阶段。此外，2008年的经济萧条和2010年的火山爆发（图1）也严重影响到了研发工作的优先级。在2014年，SESAR联合执行体的工作延期[13]至2024年。

在空中交通管理研发中，SESAR联合执行体同时获得了公共资金（即欧盟资金和欧洲空中航行安全组织的实物资助）和私人资金。欧洲委员会和欧洲空中航行安全组织均为资助单位，提供了近三分之二的研发预算，剩下三分之一的预算则来自于SESAR联合执行体的成员单位。经过2014年的扩员，SESAR联合执行体现有19家成员单位（代表37家公司）。研发经费以有限募集和公开募集两种方式筹得。有限募集的经费主要提供给SESAR联合执行体成员单位的空中交通管理解决方案的成熟化和验证工作。探索性的、低成熟度的研究工作和一些规模非常大的演示工作则采用公开募集的方式。由于欧盟的资助来自于“地平线2020计划”（H2020）的资金，一切有资格参加H2020的研究项目都可在H2020的规则下参与研究（有关SESAR联合执行体成员单位、管理、资金来源和募集等的详细信息，请见参考文献[14,15]）。

到2013年时，已有部分空中交通管理解决方案成熟，并且，要实现空中交通管理现代化和“欧洲天空一体化”的目标，最快捷的途径就是及时、协调和同步地部署这些解决方案。因此，在2013年时，管理者启动了SESAR部署管理方功能[16]。具体而言，部署管理方的职责是管理共同项目的实施[17]。共同项目包括了由SESAR联合执行体提供的、成熟的空中交通管理解决方案。这是欧洲空中交通管理网络“实现必要的业务变革”[17]所需的解决方案，并且解决方案需要在整个网络中协调和同步实施。部署工作由“连接欧洲基金”（CEF）项目提供资金，目的是在欧洲范围内进行基础设施的建设。

按照最初的设想，SESAR项目应遵循从定义到部署的线性路线。如今，空中交通管理现代化需要持续的生命周期。SESAR联合执行体负责开展研发活动并更

[†]The Consortium was led by EUROCONTROL and consisted of 30 members and 20 sub-contractors. It was financed by the European Commission and EUROCONTROL.

新总体规划以应对不断变化的外部条件（如欧盟政策和经济的变化）或出现的新挑战（如无人机和空中交通管理的数字化转型）。每隔几年，管理者就会征求各航空利益相关方的意见，以期找出差距，在此基础上确定研究和创新需求并调整部署战略。在总体规划的基础上，SESAR联合执行体开展研究、开发和验证活动，SESAR部署管理方负责组织实施通用项目（即选择成熟的空中交通管理解决方案）。最新的第四版总体规划[18]考虑到了交通量的稳步增长、日益严重的环境问题以及新兴的新型航空器（即无人机和高空航空器）。

迄今为止，SESAR联合执行体的工作计划已成功验证了63个空中交通管理解决方案[19]，还有79个解决方案正在准备中并将在未来几年内交付。这些解决方案包括：成熟化未来概念的关键推动因素，如远程塔台、分离时间和延期到达管理[进港排序辅助决策系统（AMAN）]；以及虚拟中心、改进的航空气象（MET）信息和完整广域信息管理（SWIM）（正在准备中）。每一个解决方案都涉及业务、安全、性能、人的行为等方面以及标准化材料。SESAR解决方案已应用在欧洲的300多个地点，而共同项目的实施工作也正在继续进行（见参考文献[20]中有关部署监控的内容）。尽管如此，在部署策略方面仍有改善的空间，欧洲审计院报告[21]指出：“我们认为，欧盟以共同项目形式进行的管理干预可以带来附加价值。但我们也发现，欧盟提供的空中交通管理现代化资金在很大程度上是不必要的，资金的管理也存在着一些问题。”该报告认可了及时、协调、同步部署解决方案对现代化的价值，但也指出，资金的管理需要专注于转型解决方案而不是局部改进。

3. 欧洲空中交通管理现代化的未来发展

最新的总体规划列出了三大挑战：一是交通流需求与现有空中交通管理空域容量不匹配；二是亟需更加严肃地对待环境问题；三是空间领域中新参与者的增多。在管理日益增加的各类空中交通容量方面，欧洲的空中交通管理基础设施容量已经达到了极限。据预测，在未来17年内，常规航空运输量将增加50%，而累计延误的风险将达到目前的15倍[4]。

这种增长引发了人们对于环境和健康的担忧，而这也是欧盟在《欧洲绿色新政》中做出的承诺[22]。从本质而言，空中交通管理在减少航空排放方面的措施是有限的。凭借充足的空域容量和灵活性，可使飞机安全地

飞行在环境优化的轨迹上，从而减少排放。

此外，新型航空器，如极低空无人机、军用中高长空航时无人机系统、自动空中巴士、超高空（FL600+）作业飞机、下一代超声速飞机和电推进飞机等，都需要考虑到，并将其纳入传统的空中交通管理中。基于这些挑战，管理者提出了“关于欧洲空域未来结构的建议”[3]（即AAS）。这一提案以SESAR空中交通管理解决方案（记录于总体方案）为基础，与一项新的目标结合。根据该目标，未来将采用转型技术并加快使用数字化技术，以增强自动化和虚拟化。

未来的研究项目也需要指向更高的目标。我们需要克服各国空中交通管理系统带来的困难和不足，并建立新的、以服务为导向的空中交通管理架构。二者有何区别？目前，各个ANSP都拥有航空服务所需的所有需求，即通信、导航、监视、空中交通和空中交通管理数据服务，这些服务都紧密地集成在了传统的空中交通管理系统中。这些系统通过不同的空中交通管理接口标准连接，导致其交互操作性有限、维护成本高并难以实现新系统的广泛应用。

在以服务为导向的架构中，这些紧密集成的服务将分解为独立运行的服务，并可以在任何地方运行。借助于数字手段，可以将信息服务的提供与执行信息服务的物理硬件彼此分离，从而实现空中交通管理服务的虚拟化。虚拟中心这一概念较为灵活。一个虚拟中心可由一个或多个空中交通服务装置（目前的ANSP）组成。这些装置使用一个或多个空中交通管理数据服务提供商远程提供的空中交通管理数据服务。由此，可以在任何位置上提供空中航行服务而不受国家领域的限制。

如要实现这一目标，研究的重点必须放在虚拟架构的少数突破性技术上。此外，也需要着力研究监管问题，包括：

- 允许成员国在其领空内灵活改变对空中航行服务的责任；
- 高度自动化系统的认证和批准；
- 管制员培训和认证的变革；
- 转型后空中交通管理系统经济监管方面的变革。

新的架构是一种框架。为了实现这一架构，需要各个组织高度协调，并执行共同商定的服务和基础设施原则。架构一旦建立，将允许系统的不同部分根据当地需求以不同的速度发展，同时保持网络层面上的整体一致性。

截至撰写本文时，全球空中交通管理价值链的各个

环节——航空公司、机场、ANSP及其供应商——才刚刚开始从新冠肺炎疫情造成的停滞中逐渐恢复。由于交通流急剧降低（例如，在4月和5月的某些时期，欧盟的交通流降低了90%），短期内的需求不再是交通能力提升。在短期内，工作重点在于尽可能以节约成本和可持续的方式管理减量的交通。然而，目前的情况并不会改变长期目标，即对空中交通管理进行广泛转型，提供具有成本效益的服务，以支持可持续航空发展和采用现代技术的新型航空器。这次危机表明了我们需要构建一个可持续的、可扩展的并且有弹性的空中交通管理系统。如要以节省成本的方式实现这一目标，总体规划和“关于欧洲空域未来架构的建议”仍然是最有效的方式。

Compliance with ethics guidelines

The authors declare the following financial interests/ personal relationships which may be considered as potential competing interests: Tatjana Bolić is a member of SESAR JU's Scientific Committee and she works on exploratory research projects funded by SESAR JU. Paul Ravenhill occasionally works on research projects funded by SESAR JU.

References

- [1] European Parliament, Council of the European Union. Regulation (EC) No 549/ 2004 of the European Parliament and of the Council of 10 March 2004 laying down the framework for the creation of the single European sky (the framework regulation). Strasbourg: European Parliament, Council of the European Union; 2004.
- [2] Commission of the European Communities. Air traffic management—freeing Europe's airspace—white paper. Brussels: Commission of the European Communities; 1996.
- [3] SESAR Joint Undertaking. A proposal for the future architecture of the European airspace. Brussels: SESAR Joint Undertaking; 2019.
- [4] EUROCONTROL. Daily traffic variation—states [Internet]. Brussels: EUROCONTROL; 2020 [cited 2020 Dec 2]. Available from: <https://www.eurocontrol.int/Economics/DailyTrafficVariation-States.html>.
- [5] Council of the European Union. Council regulation (EC) No 219/2007 of 27 February 2007 on the establishment of a Joint Undertaking to develop the new generation European air traffic management system (SESAR). Strasbourg: Council of the European Union; 2007.
- [6] SESAR Consortium. European air traffic management master plan. Brussels: SESAR Consortium; 2009.
- [7] European Commission CORDIS. Single European sky implementation support through validation [Internet]. Brussels: European Commission CORDIS; 2010 Aug 31 [cited 2020 Dec 2]. Available from: <https://cordis.europa.eu/project/id/37106>.
- [8] European Commission CORDIS. European airport movement management by A-SMGCS [Internet]. Brussels: European Commission CORDIS; 2008 Sep 19 [cited 2020 Dec 2]. Available from: <https://cordis.europa.eu/project/id/503192/it>.
- [9] European Commission CORDIS. European airport movement management by A-SMGCS, part 2 [Internet]. Brussels: European Commission CORDIS; 2008 Apr [cited 2020 Dec]. Available from: <https://cordis.europa.eu/project/id/503522>.
- [10] European Commission CORDIS. Advanced remote tower—ART [Internet]. Brussels: European Commission CORDIS; 2008 Mar [cited 2020 Dec]. Available from: <https://cordis.europa.eu/project/id/37179>.
- [11] European Commission CORDIS. System wide information managementsupported by innovative technologies [Internet]. Brussels: European Commission CORDIS; 2008 Mar [cited 2020 Dec]. Available from: <https://cordis.europa.eu/project/id/36990>.
- [12] Council of the European Union. Council resolution on the endorsement of the European air traffic management master plan. Strasbourg: Council of the European Union; 2009.
- [13] Council of the European Union. Council regulation (EU) No 721/2014 of 16 June 2014 amending Regulation (EC) No 219/2007 on the establishment of a Joint Undertaking to develop the new generation European air traffic management system (SESAR) as regards the extension of the Joint Undertaking until 2024 (Text with EEA relevance). Strasbourg: Council of the European Union; 2014.
- [14] Ravenhill P, Bolic T. Interim evaluation of the SESAR Joint Undertaking (2014–2016) operating under Horizon 2020. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2017.
- [15] Ravenhill P, Bolic T. Final evaluation of the SESAR Joint Undertaking (2014–2016) operating under the SESAR 1 programme (FP7). 2017.
- [16] The European Commission. Commission implementing regulation (EU) No 409/2013 of 3 May 2013 on the definition of common projects, the establishment of governance and the identification of incentives supporting the implementation of the European air traffic management master plan (text with EEA relevance). Brussels: The European Commission; 2013.
- [17] The European Commission. Commission implementing regulation (EU) No 716/2014 of 27 June 2014 on the establishment of the pilot common project supporting the implementation of the European air traffic management master plan (text with EEA relevance). Brussels: The European Commission; 2014.
- [18] SESAR Joint Undertaking. European ATM master plan, digitalising Europe's aviation infrastructure, executive view. Brussels: SESAR Consortium; 2019.
- [19] SESAR Joint Undertaking. SESAR solutions catalogue 2019. 3rd ed. Brussels: SESAR Consortium; 2019.
- [20] EUROCONTROL, SESAR. eATM portal deployment view—implementation objectives (monitoring) [Internet]. Brussels: EUROCONTROL; 2020 Nov [cited 2020 Dec 2]. Available from: https://www.atmmasterplan.eu/depl/essip_objectives/monitoring.
- [21] European Court of Auditors. The EU's regulation for the modernisation of air traffic management has added value—but the funding was largely unnecessary. Luxembourg: European Court of Auditors; 2019.
- [22] The European Commission. Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: the European green deal. Brussels: The European Commission; 2019.