国 际 民 用 航 空 组 织

ATConf/7-WP/94
25/9/26

工 作 文 件

第七次世界范围航空运输会议（ATCONF/7）

2026年11月16日至20日，蒙特利尔, 总部

议程项目 4: 新兴技术、新商业模式及其他相关方面
4.2: 对获取更清洁航空能源的支持和相关经济机遇

将气候韧性纳入机场规划：一种基于绩效的做法

(由意大利提交)

执行摘要

气候适应日益成为机场实现可靠、可持续且具投资价值的发展的先决条件。本文提出一个基于绩效的模型，旨在将气候韧性纳入机场总体规划和基础设施的投资决策。根据具体场地的气候情景和风险评估得出两个相互补充的关键绩效指标：一个用于衡量机场的整体韧性，另一个用于衡量单项具体干预措施的贡献。意大利机场案例研究展示了上游的风险评估环节，也阐述了下游将气候预测转化为设计标准、项目范围和投资需求的过程。这一框架将上述各阶段与项目的遴选、筹备、比较、优先排序及监测工作相互衔接，使韧性成为基础设施长期可持续性的一个明确维度，同时保留了对不同机场因地制宜的灵活性。

行动: 请会议:

a) 承认应将气候韧性作为一项可衡量的绩效目标，纳入机场总体规划和基础设施投资决策;
b) 鼓励各国和机场规划者根据本地气候情景和机场关键性，采用基于风险和绩效的做法，来比较规划中举措的韧性效益，支持项目优先排序; 和
c) 请国际民航组织与各国及业界协调，根据现有气候风险指导，考虑制定可扩展的方法和指标，将气候韧性纳入基础设施项目的遴选、筹备、优先排序和监测工作。

战略目标:	本工作文件涉及战略目标: 航空运输经济发展确保实现经济繁荣和全民社会福祉和航空具有环境可持续性。
财务影响:	本文件所述各项活动将在经常预算和、或预算外捐款，包括自愿航空运输基金（TRAF）提供的资源范围内开展。
参考文件:	大会A42-21号决议 – 《国际民航组织关于环境保护的持续政策和做法的综合声明 — 气候变化》 国际民航组织《2026年–2050年战略计划》 国际民航组织（2022年）— 气候变化：气候风险评估、适应与韧性 国际民航组织 Doc 9184号文件：《机场规划手册》, 第1部分—总体规划（第3版，2023年） ISO 14091:2021 — 气候变化适应— 脆弱性、影响和风险评估指南

1. 引言

1.1 气候变化对机场基础设施的性能、使用寿命和可靠性的影响日益显著。气温、降水、风向的变化以及极端天气事件均可扰乱运营，增加维护需求，改变使用寿命。因此，只有当资产和关键服务在不断变化的气候条件下仍能正常运行时，基础设施建设才是可持续的。应在规划的最早阶段就将韧性纳入考虑，但不是作为一项单独的环境要求，而是作为安全、容量、环境和经济绩效的并列项、为项目的遴选、筹备和优先排序提供依据的一个变量。

1.2 大会第 A42-21 号决议承认国际航空系统和基础设施在预计的气候影响面前存在脆弱性，要求开展气候风险评估，采取适应措施并推进具有气候韧性的发展。现有的国际民航组织指南和 ISO 14091:2021 标准为气候风险评估提供了坚实的基础。意大利此前向国际民航组织大会第 42 届会议提交的文件论述了若干补充要素：A42-WP/517 号文件重点谈气候韧性和风险评估；A42-WP/518 号文件则基于标准化关键绩效指标，提出一个可持续和数字化机场规划基于绩效的模型。剩下的实施挑战是，应如何以透明和可比的方式，将这些要素与总体规划选择及投资决策连接起来。

1.3 本文通过将气候风险转化为规划绩效，将这些原则串连在一起。由于气候风险因地而异，本文并不规定统一的适应措施，而是提出一个确立共同决策逻辑和可衡量成果的框架，同时允许各机场根据本地实际情况，自主选择最合适的技术、运营和数字化解决方案。

2. 从气候风险到规划绩效

2.1 拟定的流程先将气候情景、时间跨度与机场规划周期进行对接。随后，筛选出相关的气候灾害因素，并将其与机场的资产、系统和作业流程进行关联映射。通过评估暴露度、脆弱性、关键性和适应能力，将气候预测转化为残余风险和可量化韧性需求。这一分析涵盖了对基础设施的直接影响，以及对运营连续性、通达性、公用设施及其他关键相关项的间接影响，从而将气候风险评估直接转化为规划的输入依据。

2.2 通过扩展意大利民航局（ENAC）在可持续和数字化机场规划中已采用的逻辑，提出一个双层关键绩效指标（KPI）架构。机场整体气候韧性 KPI，用于综合评估关键资产和功能的韧性，同时考虑残余风险和适应能力。气候韧性干预措施的影响 KPI，用来量化给定气候情景下每项规划的干预措施对降低残余风险或提高适应能力的预期贡献。

2.3 各项指标应基于可追溯的数据和透明的假设，其权重应反映资产的关键性和故障的运营后果。其目的并非制定单一的强制性全球基准，而是建立针对具体机场的基线、可量化目标，以及由替代项目或项目组合产生的可比差异。这既保留了当地的灵活性，又使决策者能够确定“无悔”措施、比较设计方案，并按不同的未来气候条件测试发展路径。

2.4 随着气候信息、交通情况、基础设施配置和运营要求的不断变化，应定期重新评估韧性绩效。监测工作完善了这样一个规划闭环：气候情景引发风险评估；风险评估确定绩效需求；根据需求评估规划干预措施；再用实际观测到的绩效更新优先事项，并为下一规划周期提供指导。

2.5 基于关键绩效指标（KPI）的有效规划，需要明确的组织问责制度。机场运营人应指定一名可持续性经理或设立同等职位，负责可持续性 KPI 框架，包括数据治理、基线、目标和

定期监测。同一职能还应监督气候韧性 KPI，确保将相关结果纳入总体规划的更新和投资优先排序，并将韧性纳入机场的整体可持续性管理体系。

3. 在意大利机场系统中的应用

3.1 A42-WP/517 号文件报告的罗马机场集团经验，提供了上游风险评估部分的情况。在意大利民航局的监督下，罗马机场集团制定了一套符合国际民航组织指南和 ISO 14091:2021 标准的气候变化风险分析方法。该方法综合了气候情景，按欧盟分类法的隐患筛查，对跑道、滑行道、停机坪和排水系统等关键资产的确定，以及对暴露度、敏感性和适应能力的评估等环节。然后通过动态风险建模，为设计、监测、维护和设备四类措施提供支持，从而确立了风险基线及后续规划所需的适应方案。

3.2 米兰机场集团的经验则提供从风险评估、规划到项目开发的补充环节。米兰机场集团的气候变化适应计划基于 RCP4.5 和 RCP8.5 两种情景，对 2040 年 和 2060 年 两个时间跨度综合进行了气候分析、气候风险评估、适应措施、监测和审查。在马尔彭萨（Malpensa）机场，2024 年 8 月 26 日发生的强降雨事件，导致运营中断约一小时，造成 37 个航班被取消，113 个航班发生严重延误，充分证明了气候相关灾害的巨大影响。

3.3 米兰机场集团（SEA）的 Re-MXP 计划展示了气候预测如何改变设计标准、项目范围和投资需求。在排水设计方面，参考事件的重现期提高到 50 年，比先前的参考标准高出约 80%，使得所需的储水容量比当前标准增加约 33%。结合智能监测，这说明气候风险信息如何能直接改变一项干预措施的技术和财务特点。

3.4 这些案例共同代表了连续的不同阶段：罗马机场集团确立了特定机场的风险基线和适应方案；米兰机场集团则展示了气候信息如何改变设计标准、项目范围和投资要求。拟议的关键绩效指标通过将干预措施与残余风险的预期降低或适应能力的提升进行关联，将这些阶段结合在一起，从而得以依其对长期韧性的贡献进行对比和排位。KPI 的权重和校准，应结合机场基础设施和运营数据进行检验。

4. 投资优先排序与融资

4.1 将韧性绩效纳入总体规划评估，使气候韧性与安全、容量、环境、经济、社会及项目成熟度等考虑因素，并列成为基础设施整体可持续性的一个明确、可比的维度。干预层面的韧性关键绩效指标并非取代成本效益分析，而是增加了一个可追溯的层级，用以展示某项干预措施在气候条件变化下能否保持正常功能、连续运营和资产长期价值，包括按传统评估标准，当备选方案似乎相似时的情况。

4.2 量化预期的气候风险降幅与残留风险，可在作出最终投资决策前让韧性效益更加明确，进而强化项目的甄别、准备和优先排序。因此，在评估干预措施在其整个生命周期是否可持续时，韧性便与经济可行性、环境绩效、社会效应、安全及能力等，一并成为一个额外的决策变量。这有助于为增加生命周期支出提供合理依据，提高投资透明度，并增强适应措施的可融资性，同时，在韧性效益可被证实的情况下，还能促使项目得以利用发展、气候或混合融资工具。

4.3 这一做法原本应该是多相关方参与的模式，因为有关系统脆弱性的信息散布于机场运营人、民航主管部门、空中航行服务提供者、地方和地区主管部门、公用事业、应急服务和金融机构等各个方面。各方的参与有助于改善项目准备工作，提高项目评估中韧性假设的可信度。数字化监测可在不改变基本规划逻辑的同时，强化证据基础，验证预期效益，更新韧性绩效。

5. 结论

5.1 意大利的经验表明，航空业适应气候变化的下一个实际步骤，是在机场总体规划中，从气候风险评估转向基于绩效的投资规划。拟议的框架将气候情景和脆弱性，与可衡量的韧性需求、韧性关键绩效指标、项目遴选、投资优先排序以及定期监测，联系起来。

5.2 罗马机场集团和米兰机场集团分别展现了这一过程互为补充的两个部分。罗马机场集团确立了气候风险基线和适应方案；米兰机场集团则显示了气候预测如何能改变设计标准、项目范围和投资要求。其目的并非将地方解决方案标准化，而是为衡量这些方案对韧性的贡献提供一致的依据。通过试点应用，可在因不同的数据可得性和运营复杂性而保持灵活的同时，对权重和阈值进行校准。

5.3 因此，应将气候韧性纳入机场规划，使之成为基础设施可持续性的一项可衡量指标，并将气候风险评估与投资决策直接挂钩。还可据此评估现代化项目在整个生命周期内，维护安全连通性、基础设施价值和运营连续性的能力。

— 完 —