航空公司载重平衡核心风险管理研究和应用

罗杰 [1]　邬雷 [2*]　王伟邦 [1]　智会静 [1]　肖睿 [1]

1. 西部航空有限责任公司运行控制部　重庆渝北　401120

2. 中国民用航空飞行学院航空工程学院　四川广汉　618307

摘　要：为提升载重平衡的安全管理水平和能力，避免航空器起飞和降落时出现擦机尾、冲出跑道、进近和复飞失控等不安全事件的发生；首先，本文通过梳理载重平衡相关风险点，深挖实际工作中的具体隐患，根据隐患制定相应缓解措施；跟踪措施落实和有效性评价形成风险管控闭环。随后，基于 Bow-tie（蝴蝶结）模型对载重平衡风险管理进行系统性的阐述；最后，结合 XX 航空有限责任公司载重平衡风险管控的应用进行探究。基于此，以期为加强载重平衡安全管理能力提供思路和参考。

关键词：载重平衡；风险分析；有效性评价；Bow-tie（蝴蝶结）模型

引言

风险管理能够衡量危险的可能性和严重性，并提出将风险降低至可接受水平的策略，包括危险识别、风险评估和风险缓解等，危险识别能够辨析危险以及相关后果，是风险管理的基本流程，将为风险评估和缓解提供依据。同时，风险管理是航空安全管理体系的核心，能够实现安全关口前移；载重平衡是影响飞机安全的重要因素之一，飞机载重平衡不合理将会导致机尾擦地、飞机冲偏出跑道、飞行姿态控制困难的严重后果。然而，载重平衡所带来的风险仍未得到充分缓解，尤其是航空公司针对载重平衡核心风险进行全链条安全管理在行业类属于空白；本文，通过分析和对比 2017–2023 年发生的载重平衡相关的不安全事件，货物、行李代理人占比在 75% 左右，其中绝大多数为货物、行李监装监卸引发的货舱破损的不安全事件，此类事件占比高达 97%；分析不安全事件中的危险源，发现人为责任原因占比 96%；民航企业需结合载重平衡实际情况和企业运营特点，有针对性地制定相关操作流程，才能达到缓解载重平衡风险的目的；然而，载重平衡的风险管理体系在应用方面仍不成熟，需更深入的研究和分析。

1. 载重平衡核心风险管理研究

1.1 危险识别

风险树分析法是危险识别的主要工具，在安全管理风险评价方面应用广泛，其核心原理是对复杂对象进行分解，然后根据分解要素之间的作用关系构建层层递进树状因果关系图。本文通过研究历史不安全事件和载重平衡关键环节的风险，运用风险树模型进行分析，按经典风险管理理论中风险源辨识的思路，从数据录入、信息传递、装载执行、管理相关等 4 个方面进行总结分析。

1.2 风险评估

安全和危险可以共存，前提是将载重平衡的风险控制在可接受水平之内。风险评估的一种普遍方法，主要是将危险的发生概率（即可能性）与严重性进行组合，创建由数字和字母标识的安全风险指数等级。通过将抽象的安全概念与定量的指标有机结合，将安全理念具象化。如何建立合理的评估模型和程序，并赋值安全风险矩阵进行研究，是解决载重平衡安全风险的核心。目前主流的定性和定量方法有层次分析法、模糊评价法、熵权法等。载重平衡风险评估涉及范围广、不确定因子多、安全评估主要基于有民航一线实际地服、配载、货运业务的专家们，导致评估的结果主观性较强，各个航司也没有统一的标准化评估模型。建立载重平衡安全的风险评估模型，对于提升载重平衡安全管理能力具有一定意义。

1.3 风险缓解

风险缓解措施并不是指绝对地消除安全风险，而是通过风险评估矩阵根据容忍度不同，分为可接受、缓解后可接受、不可接受三级；结合识别的危险和风险评估结果，通过减少暴露于风险的机会，将有助于风险关口前移，降低载重平衡不安全事件发生的可能性，增强预防风险的能力。载重平衡

的风险缓解策略可以从事前和事中两个维度进行评估，从而降低发生的可能性和降低后果的严重性；

事前主要是民航局的咨询通告，公司的手册流程等相关规则制定，监装监卸人员资质等角度制定风险缓解措施。

在规则方面，2005 年《航空器空重核重心控制》，对航空营运人如何控制航空器的空重核重心位置提出具体要求和指导；2019《航空器重量与平衡控制规定》（AC-121-FS-135）（民航规〔2019〕61 号）发布实施，对航空运营人重量与平衡控制和管理工作提供了指南，并为局方开展日常监管提供了依据。航空公司重视航空器重量与平衡控制工作，按照咨询通告编订载重与平衡控制相关手册，执行舱单“双复核”或“交叉检查”，确保舱单与实际保持一致。

在资质方面，航空运输有关方，包括配载代理单位人员、监装监卸人员、机组、乘务组、地服人员、签派员等，需具备所需的知识、技能和资源，同时获取相应的危险品操作资质。针对不同的岗位，需要对员工进行相应的培训，保障舱单制作、货运行李装载、监装监卸操作能力。航空运输相关利益方的工作能力和安全形态是保障载重平衡安全的重要支撑。目前，在针对不同的岗位，货物、行李的监装监卸、配载和加机组等操作能力上形成了相对完善的风险缓解措施。

事中主要是通过合理的缓解策略能应对突发情况，将危险发生后的严重性控制在可接受水平，减少损失，主要是从 STOP（航空器叫停）策略方面进行考虑。在航空器以自身动力滑行过程中，出现载重平衡与舱单不符的事件时，及时叫停航班，纠正处置，避免带隐患上天。然后各个航司的叫停政策不同，事中管理作为最后一道防线，还有待推广和应用。

2. 基于 Bow-Tie 模型的载重平衡核心风险管理应用 – 以 XX 航空有限责任公司为例

2.1 Bow-Tie 模型的构建

蝴蝶结 (Bow-Tie) 模型是一种简明且直观展示危险事件演化过程的风险分析方法，包含事故危险源、事故前的缓解措施、顶端事件、事故后的缓解措施和事故结果等的模型。在蝴蝶结模型中，以顶端事件为核心，向左通过事故树来识别危险源，向右通过事件树分析产生的后果，并有针对性地设置屏障进行风险缓解，形成类似蝴蝶形状的分析模型。该模型方便快速查明和管理风险，评估风险缓解能力，尽量降低危险发生的可能性和后果严重性 [1]。

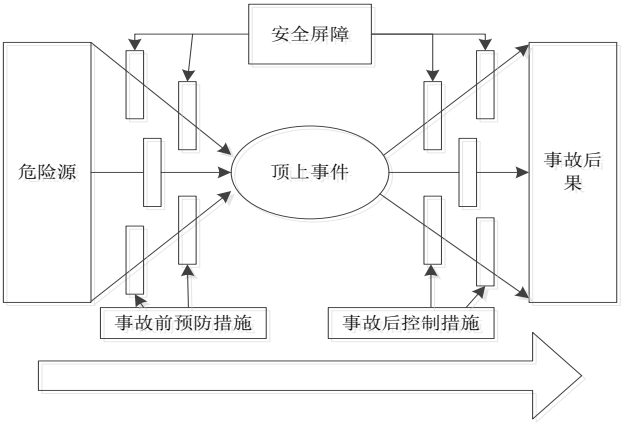

图 1 Bow-Tie 模型流程图

在 XX 航空有限公司针对 A320NEO 飞机通过配备压舱物缓解超包线的风险；同时，在一线运行的实际情况下，人员载重平衡知识的掌握也是较为突出的风险点；故本文以 A320NEO 飞机压舱物的风险和人员载重平衡知识不足等两个风险为例，建立 Bow-Tie 模型。

Bow-Tie 模型以载重平衡为危险源，在模型的左侧模块简单以压舱物的各项风险为核心的和人员载重平衡知识不足等两个风险；每种载重平衡与舱单不符提出风险缓解措施，为降低事件发生的可能性提供建议。根据舱单不符可能发生的位置，模型右侧区域给出载重平衡不安全事件危险后果，即舱单与实际不符、超出重心包线、擦机尾等，提出相应的风险缓解措施，为降低事件后果的严重性提供建议。应对压舱物的风险，通过及时修订配载运行包线、中航信数据库、监装监卸、及时获取局方批复等手段进行缓解；针对人员载重平衡知识不足，加强人员培训和系统防护等；通过完善管理能力和技术水平，可提高应对突发情况的能力，降低潜在后果的危害，保障舱单与实际相符的安全性。

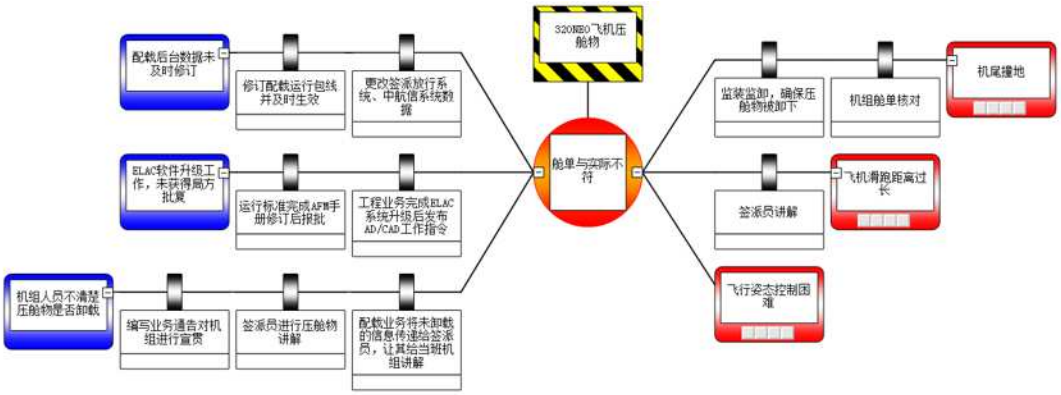

图 2 320NEO 飞机压舱物 Bow–Tie 模型构建（部分截图）

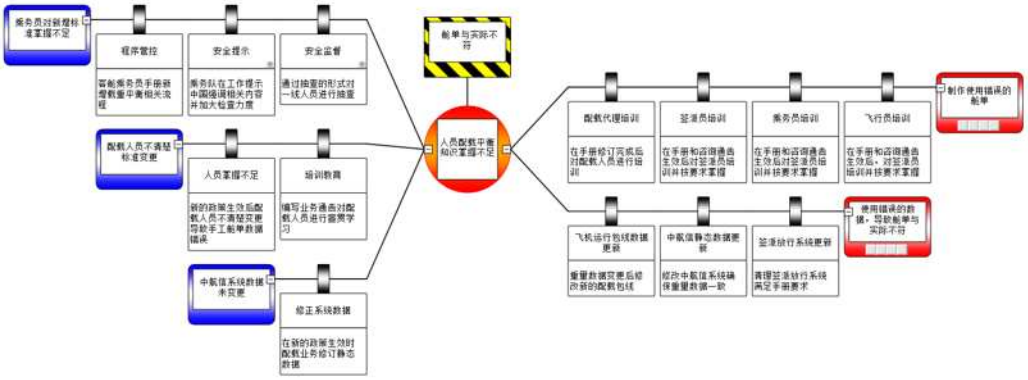

图 3 人员载重平衡知识不足的 Bow–Tie 模型构建（部分截图）

2.2 载重平衡核心风险管理在 XX 航空有限责任公司的应用

XX 航空有限责任公司是以核心风险项目的形式开展载重平衡安全风险管控，安全风险管理主要遵循了“P–D–C–A 循环”，也就是识别危险源—分析风险—制定措施—实施控制措施—控制措施跟踪与评估。在压舱物的风险和人员配载知识不足，根据 Boe–Tie 模型，XX 航空已经形成较为完备的管控措施，现阶段的核心环节是将模型建立的措施落实的有效性；

例 1：2020 年 XX 航空对于 A320NEO 机型前期起飞重心包线问题，为保证安全，兼顾效益，在飞机前舱配备了 600KGS 的压舱物；为缓解该风险，XX 航空不断与空客进行业务沟通，NEO 机型进行 ELCA 软件升级，优化该机型重心包线，改装后 A320NEO 飞机的配载运行包线有较大程度的扩展。XX 航空完成全部 6 架 A320NEO 机型的 ELAC 改装升级工作，升级完成后，航空器载重平衡参数、压舱物等管理发生变化，结合载重平衡风险管理实际情况，用 Boe–tie 模型针对性的进行分析，合理管控风险；从 2020 年 6 月 19 日开始运行新的数据到现在，A320NEO 飞机平稳运行，未出现载重平衡非正常事件。

例 2：XX 航空针对一线运行人员载重平衡知识不足的管控，首先运用 Boe–tie 模型进行分析，同时针对载重平衡知识掌握情况进行调研，调研情况如下：

表 1 XX 航空一线人员载重平衡知识调研

工种	人数	平均分
签派员	35	84
乘务员	689	82
飞行员	599	91.8

调研完成后根据易错题情况制作课件，再次组织学习。学习完成后再次进行抽查，抽查整体好于 2024 年上半年的测试，人员平均分接近 90 分，由此得出风险可控的结论。

XX 航空借助该体系，能够更好的解决风险管控措施实效的问题，进而有效规避隐患，切实保障公司载重平衡的安全。

3. 结语

本文作者对载重平衡的风险管理进行分析和应用。首先，通过对载重平衡不安全事件的统计和分析，梳理了载重平衡与舱单不符的核心风险源。随后，从危险识别、风险评估和风险缓解等等个 3 方面分析风险管理在载重平衡中的应用。其次，以 A320NEO 压舱物风险和人员载重平衡知识不足建立蝴蝶结模型，介绍载重平衡的风险的危险源、后果及缓解措施，直观且系统地展示载重平衡风险管理的流程；最后以 XX 航空有限责任公司为例直观的展示了载重平衡管控的有效性。风险管理在载重平衡中的应用，将为载重平衡的安全性提供重要的理论基础和应用实践。

参考文献：

[1]谢欢欢，梁晓瑜，董桂枝 . 航空运输锂电池的风险管理应用 [J]. 电池，2024, 54(1):98-101.

基金项目：

民航飞行技术与飞行安全重点实验室飞行技术专题项目（FZ2022ZX49）：基于 ACPC 典型特情训练的非技术技能评价标准研究