



中国民用航空局飞行标准司

信息通告

编 号：IB-FS-OPS-015

下发日期：2025 年 1 月 6 日

绿色 QAR 实施方法指南

目录

1	目的	1
2	适用范围	1
3	参考资料	1
4	关键词	2
5	背景与概念	3
5.1	背景	3
5.2	监管悖论	3
5.3	安全-I 与安全-II	4
5.4	日常运行测量（ROM）	4
5.5	KPI+OKR 的管理	4
6	组织管理	5
6.1	理念与文化	5
6.2	组织架构	5
6.3	管理者承诺	6
7	绿色 QAR 建设	6
7.1	分析（Analysis）	7
7.2	设计（Design）	7
7.3	开发（Development）	8
7.3.1	绿色权重	8
7.3.2	绿色标准	8
7.3.3	绿色模型	9
7.3.4	SMART 原则	10
7.4	实施（Implement）	11

7.4.1	绿色模型数字化	11
7.4.2	绿色模型应用	11
7.4.3	持续优化	12
7.5	评估 (Evaluate)	12
8	QAR 交通灯	13
9	绿色 QAR 实践案例——减少“重着陆”	16
9.1	分析	16
9.2	设计	16
9.2.1	过程业务分解	16
9.2.2	QAR 事件参考	17
9.2.3	绿色参数确定	18
9.3	开发	19
9.3.1	绿色参数权重的计算	19
9.3.2	绿色标准的设定	20
9.3.3	绿色模型的建立	23
9.3.4	数据修正	24
9.4	实施	25
9.5	评估	27
10	附件	29
	附件 1: 绿色权重计算方法	29
	附件 2: 绿色标准计算方法	31

1 目的

为推进民航绿色 QAR 建设,创新 QAR 应用模式,丰富 QAR 应用场景,建立符合实际操作预期的 QAR 数据模型,引导飞行员遵守标准操作程序及相关技术规范,依据《飞行数据分析方案实施和管理要求》,制定本指南。

2 适用范围

本指南适用于按照 CCAR-121 部运行的运营人和按照 CCAR-135 部运行最大起飞全重超过 27000 千克多发涡轮喷气飞机的运营人(以下简称运营人)。

3 参考资料

《国际民用航空公约》 附件 6《航空器运行》

《飞行数据分析方案(FDAP)手册》ICAO DOC10000

《飞行品质监控》FAAAC120-82

《飞行数据监视》CAACAP739

《飞行数据监控先兆指标实施指南》EOFDM_WGB_REV04

《关于安装飞行数据记录器(FDR)的规定》CAD1994-MULT-32R1

《关于加装快速存取记录器(QAR)的规定》CAD1997-MULT-38

《飞行品质监控工作管理规定》MD-AS-2000-001

《关于实施“波音、空客系列机型飞行品质监控项目规范”的指令》CAAC-SD2007-1

《飞行品质监控信息报送管理规定》AC-396-AS-2016-09

《飞行数据分析方案实施与管理要求》

《数据驱动的循证训练(EBT)课程研发指南》IB-FS-OPS-007

4 关键词

以下关键词定义仅适用于本指南。

绿色 QAR: 基于绿色模型，通过分析和利用日常运行测量数据，实施行为正向引导的安全管理模式。

绿色模型: 基于业务需求构建的多维度正向引导模型方案，包含绿色参数、绿色权重和绿色标准等关键要素。

绿色参数: 用于衡量飞行操作是否符合绿色标准的一系列关键数据指标。

绿色权重: 用于衡量不同的绿色参数对目标达成的重要性或影响程度。

绿色标准: 针对绿色参数设定的理想标准值，用以界定什么是“好的”或“正向”的飞行操作行为。

ADDIE 方法: 一种系统性的开发方法，包括分析(Analysis)、设计(Design)、开发(Development)、实施(Implementation)和评估(Evaluation)五个阶段。

安全-I: 侧重于事件的安全管理方式，即在识别事件发生后对事件实施直接的管控，从而降低该事件发生的几率。

安全-II: 侧重于过程的安全管理方式，通过强调业务过程的标准、规范和正常，从而自然避免不好的结果发生。

监管悖论: 指在某些情况下，旨在提高安全性的监管措施可能会产生相反的效果。

KPI: (Key Performance Indicator) 用于结果管理的量化指标，旨在评估组织或个人在特定时间段内是否达成了预设的业务目标。

OKR: (Objectives and Key Results) 一种过程管理工具，通过设定明确的目标(Objectives)和可衡量的关键指标(Key Results)，指导团队和个人在达成目标过程中执行关键行为。

日常运行测量：（ROM）收集每次飞行中特定时间内或条件下采集的指定记录参数，并进行数据分析的过程。

5 背景与概念

5.1 背景

为应对新形势下飞行数据管理的新需求，民航局发布了《飞行数据分析方案实施与管理要求》（以下简称《管理要求》）。

《管理要求》旨在推进航司对飞行数据进行系统性的趋势分析，以及对飞行品质管理的正向引导。在此背景下，与仅聚焦“超过阈值”事件不同，绿色 QAR 强调通过数据测量，建立可用于衡量操作规范和标准的数据模型，引导飞行员遵守标准操作程序及相关技术规范，从而助力本质安全。

5.2 监管悖论

监管悖论是指旨在改善结果的监管反而导致非预期的负面效果。例如，在着陆过程中过度关注飞机坡度，可能导致飞行员为了规避“低空坡度”的事件，有意忽略着陆位置偏差的修正，进而增加了飞机偏出跑道的风险。这表明，尽管监管措施的初衷是为了提高安全性，但在实际操作中，如果指标设定不当或过分强调某单一结果，反而可能产生负面的引导作用。因此，在行业和各航司的管理实践中，需要采取综合性的策略来避免潜在的风险。

同时，通过安全-I 的事件管理，可以使得事件的绝对数量和发生几率下降；但这种管理者所期望的结果恰好会使得可供分析的样本量减少、缺乏置信度，不能全面准确的反映安全水平。因此，行业和各航司需要改进单一的安全绩效评价方法，使用海量数据提升安全管理水平。

5.3 安全-I 与安全-II

安全-I 强调对“不好的结果”实施直接管理，其核心要求是“少犯错”；而安全-II 更关注对操作行为的正向引导，其核心要求是“过程一切正常”。在现有的安全管理体系中，安全-I 的事件管理是一块重要的“压舱石”，它强调在事件发生后，管理者能够对事件结果本身进行管控，这在某种程度上是最高效和最直接的方法。安全-I 的事件管理方式就像医学中的“治已病”，是在疾病发生之后通过对症用药，达到缓解或治愈的目的；安全-II 的过程管理和正向引导方式就像医学中的“治未病”，是在疾病尚未发生前通过识别征兆和调养生息，使得身体持续保持健康状态，从而自然避免疾病的发生。所以安全-II 的管理不再强调对于事件的“亡羊补牢”，而是强调通过识别和引导**正确的操作行为**，使得飞行过程一切正常，从而实现“未雨绸缪”的安全效果。

5.4 日常运行测量（ROM）

日常运行测量的分析对象为**全量飞行数据**，通过各类算法和数据可视化手段，可识别事件级别以下的习惯性偏差、新出现的偏差以及环境变化等，解决了大量未构成事件的数据信息未被充分利用的问题，有助于判定风险归因和安全趋势。ROM 是绿色 QAR 正向引导的核心数据来源。

5.5 KPI+OKR 的管理

在安全管理中，航司通常采用安全-I 的方式对安全结果实施直接管控，针对“不好的结果”制定事件标准、明确 KPI 指标。事实上，这种针对安全结果的 KPI 管理有利于划定安全边界，也在很大程度上避免了不安全事件的发生。但仅基于安全-I 理念的管理可能导致不同程度的监管悖论，所以还需要使用安全-II 的理念进行补充和强化。通过设定明确的目标（Objectives）和可衡

量的关键指标（Key Results），正向引导关键行为的执行，从而达到过程的一切正常。这种 OKR 的过程管理和安全-II 的管理理念高度契合，通过过程的“标准和规范”自然达成“安全”的预期效果。

6 组织管理

6.1 理念与文化

运营人在推行绿色 QAR 前，首先需要理解和认可安全-I 和安全-II 相结合的管理方式，认识到这是从“不要犯错”到“一切正常”的理念转变，是强调结果但更关注过程的科学态度。绿色 QAR 是数据资产的深度挖掘，是将业务数据化的具体实践，是民航推进数字化转型的重要抓手。

6.2 组织架构

绿色 QAR 同样适用于《飞行数据分析方案实施与管理要求》中对运营人建议的组织架构。值得注意的是，公司级领导应负责统筹引领绿色 QAR 相关工作，以确保各个部门之间能够有效配合、协同发力，避免各自为战、业务冲突和资源浪费。

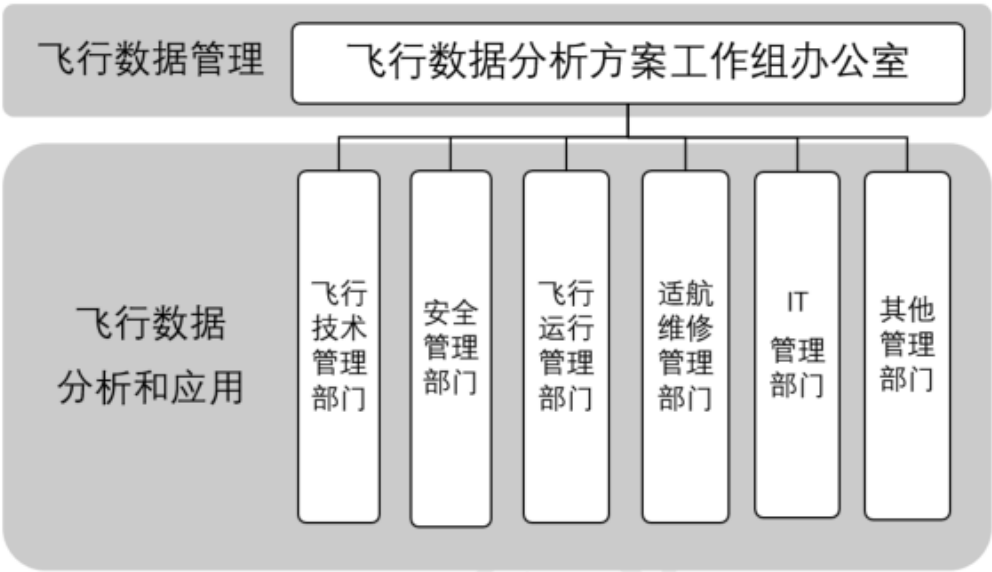


图 1 绿色 QAR 组织架构图

注：建议在 PLM 工作领导小组下统筹设立飞行数据分析方案工作组。

6.3 管理者承诺

运营人在“人、财、物”方面的投入是成功推行绿色 QAR 的关键要素。管理者应采取行动做出承诺，除了规划推进信息化系统建设外，更应培养懂得“飞行运行、数字思维、管理业务”的跨界人才，为绿色 QAR 的推行赋能。

7 绿色 QAR 建设

绿色 QAR 是中国民航训练深化改革 PLM-“大数据+训练”的重要组成部分，运营人在建设过程中可以沿用《数据驱动的循证训练（EBT）课程研发指南》（IB-FS-OPS-007）中的 ADDIE 方法论，让“分析、设计、开发、实施、评估”五个环节组成逻辑自洽的闭环。

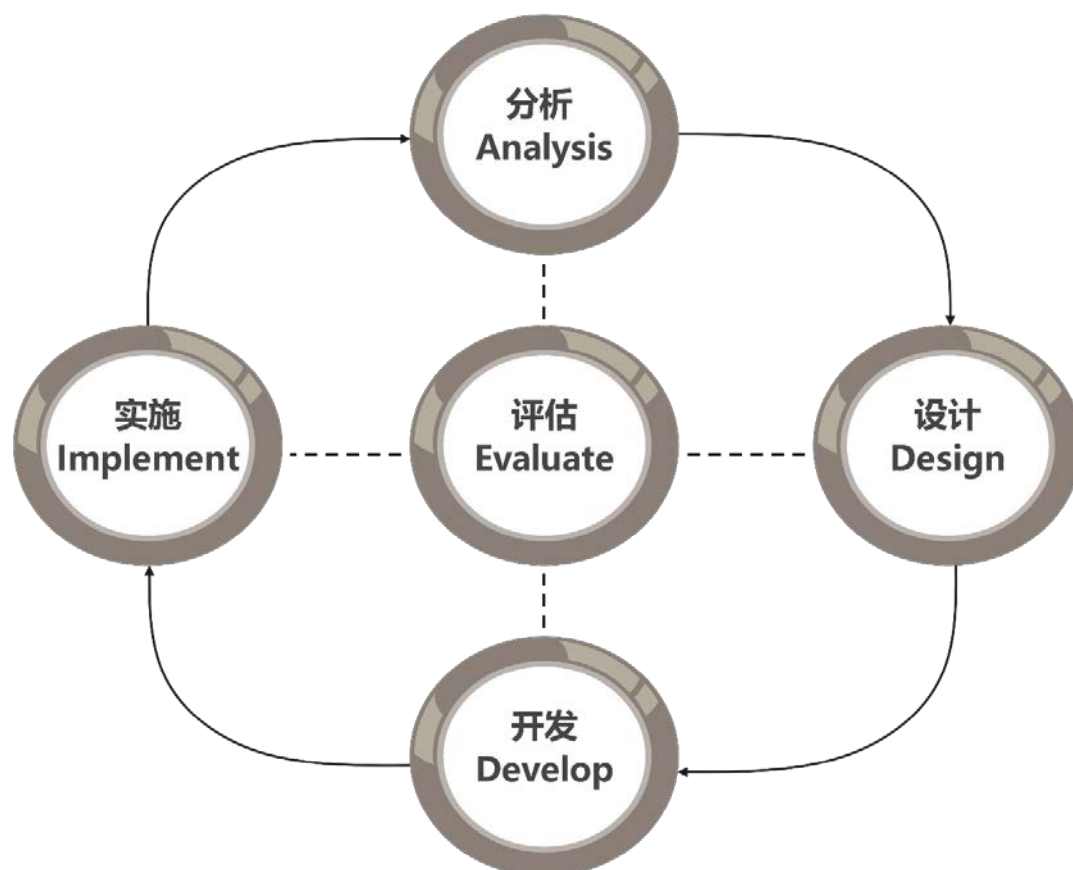


图 2 ADDIE 图示

7.1 分析（Analysis）

在绿色 QAR 建设的分析阶段，运营人应以问题和需求为导向，找到管理目标（Objectives）。在此过程中，如果产生多个需求和管理目标，运营人需要对目标进行优先级排序。

7.2 设计（Design）

该阶段，运营人需要根据分析阶段明确的需求找出绿色指标：运营人在设定了明确的目标（Objectives）后，需要通过相关性和因果性业务分解得到可衡量的关键指标（Key Results），以明确团队和个人在达成目标过程中需要执行的关键行为。其中目标（Objectives）指向“我们希望实现什么？”（定性描述）；而关键指标（Key Results）指向“如何衡量我们是否实现了目标？”（定量描述）。值得注意的是，目标（Objectives）和关键指标（Key Results）可以嵌套式的层层递进向下分解，上一层级的 KR 可以作为下一层级的 O，最关键的是确保向下分解到最后层级的 KR 是可操作的具体指标，从而最终成为运营人的“绿色参数”。

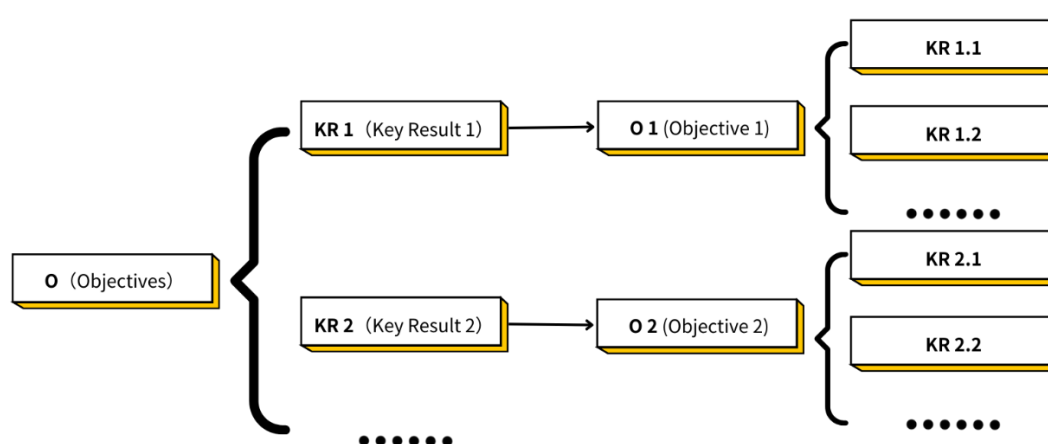


图 3 OKR 分解图示

7.3 开发（Development）

开发是 ADDIE 方法的核心，主要是基于绿色参数建立绿色模型，其中有两个重要组成部分：绿色权重和绿色标准。

以下方法仅供参考，运营人可根据实际情况按需选择。

7.3.1 绿色权重

可通过专家问卷方式，采取层次分析法（以下简称 AHP）设定指标权重。利用 AHP 对所有影响因素进行加权，即比较不同因素之间哪个对目标（O）影响更大。通过专家组对指标进行评价，确定每个指标的相对重要性或影响程度并进行排序，从而确定每个关键指标（KR）对目标（O）的绩效贡献。

具体方法详见附录 1。

7.3.2 绿色标准

绿色标准是针对参数设定的理想标准值，用以界定什么是“好的”或“正向”的飞行操作行为。运营人可以通过历史大数据分析，考虑实际飞行中的环境因素和人为因素，确定绿色参数对应的绿色标准。

首先通过 K-S 检验方法对绿色参数进行正态分布检验；之后采用 EDA 方法对实际运行的 QAR 数据进行分析，剔除异常数据后计算均值、方差和中位数等，根据正态分布的性质和飞行专家组的意见初步设定各个指标的参考值；再参考标靶航班数据进行修正，最终得到标准的区间范围，即绿色标准。

绿色标准的确定通常需要三个步骤：选取 QAR 原始参数、设置测量时刻或区间、确定计算方法。

(1) QAR 原始参数的选取

为了确保绿色参数能够准确反映各项业务需求，QAR 原始参数的选取至关重要。只有选择适当的数据，才能客观还原飞行

的真实状况。例如，与速度相关的参数包括指示空速、真空速、地速等；与高度相关的参数则包括标准气压高度、修正海压高度、无线电高度、GPS 高度等。运营人需根据具体的业务需求，精准选择最适合的原始数据。此外，部分高级参数可能需要通过多个原始数据的组合计算生成，例如场高、评价指数、或相关系数等。

(2) 数据测量时刻或区间

在明确所需参数来源后，还需进一步确定绿色参数所描述的时间点或时间区间。例如，典型的时间点包括起飞阶段、进入跑道时刻、着陆瞬间、反推使用时长等。准确界定测量时间维度是确保参数具有实际业务指导意义的关键。

(3) 计算方法

在明确参与计算的参数和时间区间后，需选择科学合理的计算方法，以得出对应绿色参数的最终取值。常用的计算方法包括：平均值、最大值、最小值、标准差、绝对值、聚类分析、三角函数、自定义函数等。计算方法的选择应依据业务需求和参数特性，以确保结果的准确性和应用价值。

具体方法详见附录 2。

7.3.3 绿色模型

表 1 绿色模型样表

绿色模型				
序号	模块	参数	权重	标准
1	xx	xx	xx	xx
2		xx	xx	xx
3		xx	xx	xx
4	xx	xx	xx	xx
5		xx	xx	xx
.....				
合计			xx	xx

7.3.4 SMART 原则

OKR 的选择和绿色模型的构建应遵守 SMART 原则：

明确具体的（Specific）：对目标和指标需详细描述，内容与范围清晰，避免模糊，使团队对预期目标形成统一的理解。

可衡量的（Measurable）：量化的 OKR 才能支持数据驱动的决策与管理，确保关键指标（KR）的完成情况能够被清晰评估。

可实现的（Attainable）：目标的设定需基于现有资源和条件，既具有挑战性又可实现，避免制定过高目标而无法达成。

相关联的（Relevant）：关键指标（KR）需与目标（O）紧密相关，确保每个关键指标的实现都能推动总体目标进度。

有时限（Time-bound）：明确目标的时间节点和截止日期，确保目标与关键指标的实施进度可控。

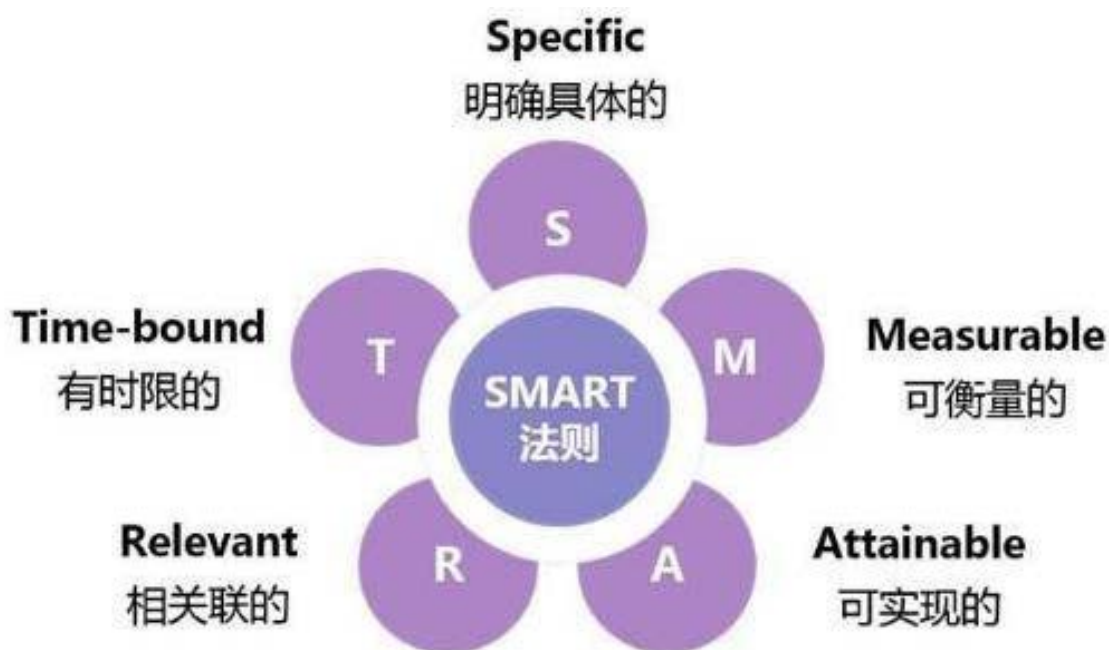


图 4 SMART 原则

7.4 实施（Implement）

实施阶段包括绿色模型数字化、应用和持续优化三个部分。

7.4.1 绿色模型数字化

完成绿色模型开发后，需要使用适当的工具进行数字化处理，以实现数据挖掘、整合与推送功能，从而为绿色模型的实际应用奠定基础。将业务本质和管理需求固化到信息化系统中，是推进绿色 QAR 的关键。

7.4.2 绿色模型应用

信息的及时反馈是数据应用的重要前提。在实现绿色模型数字化后，还需借助信息化工具将绿色数据推送给飞行员，充分发挥其“及时、高效、标准化”的优势。通过数据的直观对比，飞行员能够将实际操作与绿色标准进行精准比对，识别差距并针对性地优化操作，从而实现自我讲评和总结，不断提升操作水平。

注：上述实时推送“绿色标准”对比值，与当前各运营人普遍采用的与机队均值对比有本质上的差异，均值并不代表正向引导的期望值，因而无法防止集体偏差，难以避免整体性技能缺陷。

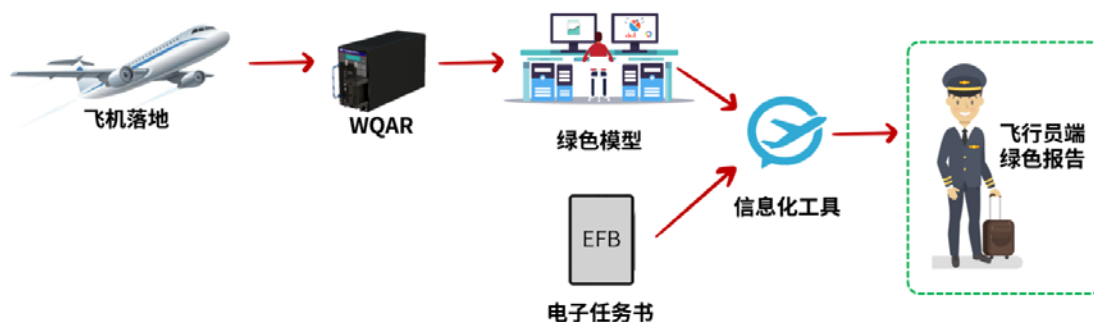


图 5 绿色模型推送流程图

对于管理部门而言，可将绿色 QAR 数据作为资质管理的辅助依据。配合适当的管理政策，能够对不同技能水平的飞行员采用差异化管理策略。例如优化复杂气象条件下的机组搭配等。

此外，根据不同绿色模型的应用，还可实现飞行员的数字化画像，为飞行员技能全生命周期管理体系（PLM）的建设和实施提供支持，进一步提升飞行员岗位胜任力。

7.4.3 持续优化

绿色模型的实际效果需要通过实践检验，以评估其是否符合业务预期。因此，飞行员的意见反馈是模型优化的重要信息来源。运营人应建立与一线飞行员的信息互通机制，收集反馈意见并用于持续优化绿色模型，尽量确保模型的评价与飞行员的主观感受趋于一致。

7.5 评估（Evaluate）

评估贯穿绿色 QAR 建设的全过程，其核心目标是实现对各阶段成果的动态验证，确保绿色 QAR 符合预期。

表 2 评估要素表

阶段	评估要素
分析阶段	1. 运营人是否识别核心问题、明确业务需求？ 2. 业务需求是否全面准确？ 3. 对于多个需求是否明确优先级？
设计阶段	1. 运营人是否设定了明确的目标（Objectives）？ 2. 是否通过相关性和因果性业务分解得到可衡量的关键指标（Key Results）？
开发阶段	1. 运营人是否针对关键指标明确绿色参数？ 2. 针对绿色参数的重要性差异设立合理的权重？ 3. 是否明确绿色标准以刻画“好的”或“正向的”飞行操作行为？ 4. 绿色模型的构建是否符合 SMART 原则？
实施阶段	1. 运营人所选取的绿色参数是否能获取并准确计算？ 2. 数据模型刻画的业务过程是否符合飞行员的预期？

	3. 数据是否可以及时反馈给飞行员？ 4. 数据是否做到正向引导且杜绝处罚（含变相处罚）？ 5. 绿色模型的数据是否已经运用到日常管理中？
--	---

8 QAR “交通灯”

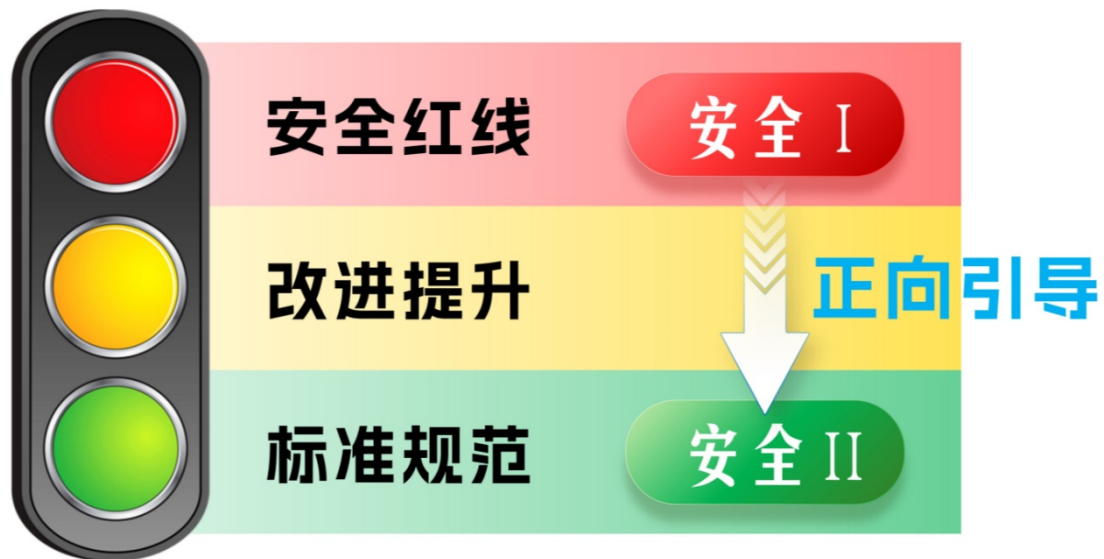
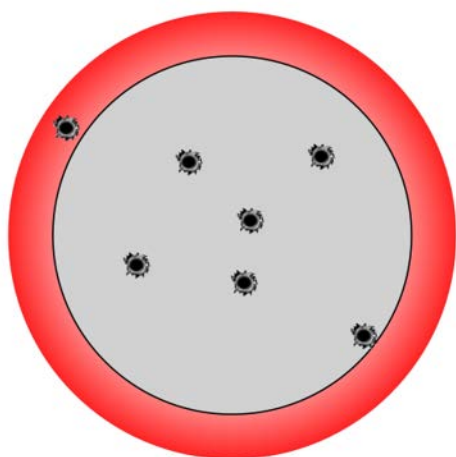


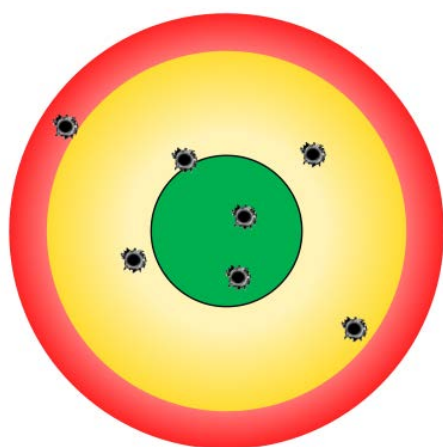
图 6 QAR 交通灯示意图

QAR 数据是航空运行高质量的结构化数据：通过安全-I 的管理思路（门限阈值-事件管理）实施数据挖掘可以识别和管理不可接受的行为和事件（“红色”区间），通常涉及局方要求的强制报告范围，这是现阶段安全管理的“承重墙”，目的是为了守住“安全底线”；通过安全-II 的管理思路（绿色模型-绿色 QAR）实施数据挖掘可以识别和管理标准的、规范的行为（“绿色”区间），这是未来安全管理的重要补充，目的是用数据模型树立起“标准规范”；正因为明确了“红色”和“绿色”的区间，自然可以通过数据挖掘识别出“黄色”区间，也可以测量出具体行为离“红色”和“绿色”区间的差距，目的是为了帮助组织和个人“改进提升”。如果通过 QAR 数据识别到“红色”区间不可接受的行为，管理机构本能的会倾向于针对不安全事件实施处罚；如果通过 QAR 数据识别

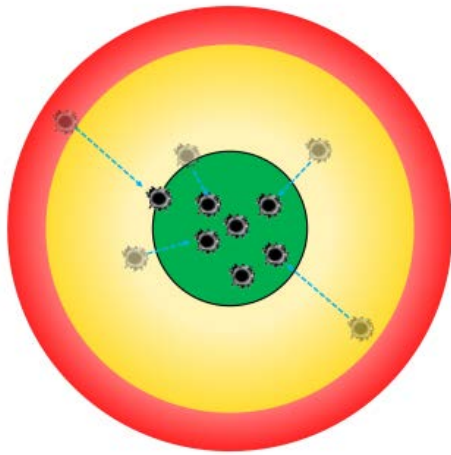
到“绿色”标准规范的行为和“黄色”值得改进提升的行为，管理者将会更倾向于正面鼓励和控制趋势，可有效管控使用 QAR 数据实施处罚。



按照安全-I 的管理思路进行数据挖掘只能将飞行操作行为分成“红色”和“其他”两个部分。如果使用这种方式过渡管理会催生“QAR 事件”飞行员，导致飞行员只关注自己的行为不要触碰红色区间，而选择性忽略那些规范的、标准的行为。管理者也只能在红色区间中识别少量的事件结果数据用于安全管理。



按照安全-II 的管理思路进行数据挖掘，通过绿色参数、绿色权重和绿色标准构建起绿色模型，就可以明确出绿色的边界，自然将飞行员的操作行为分成“红色”、“黄色”和“绿色”三个部分。这样飞行员和管理者就知道了什么样的行为是标准的、规范的。



运营人实施绿色 QAR 后,因为绿色模型的正向引导,飞行员的行为会不断的向管理者期望的行为靠拢,这种正向引导使得机队的行为越来越靠近“绿色”、远离“红色”,促进组织的安全文化提升和本质安全水平。

9 绿色 QAR 实践案例——减少“重着陆”

局方将根据最新行业实践，定期收集整理行业内应用绿色 QAR 的优秀案例，并在“飞行人员信息咨询”网站（<https://pilot.caac.gov.cn/>）的“飞行员全生命周期管理”模块内予以公布，供各航空公司参考。

某航空公司空客 A320 机队在 2018 年共计监控到 14 次着陆垂直载荷超过 1.8G 的“重着陆”事件。为控制此类不安全事件的持续发生，该航空公司引入了绿色 QAR 管理理念，并采用 ADDIE 方法进行全面分析，构建着陆模型，正向引导飞行员提升着陆操作技能，显著降低了重着陆的发生概率。本案例中提供的方法仅供参考，运营人可根据实际情况按需选择。

具体实践步骤如下：

9.1 分析

在本案例中，重着陆已成为该航空公司亟需解决的痛点，迫切的需求是“降低重着陆触发率”。重着陆事件通常源于不好的着陆操作过程，为了达到“降低重着陆触发率”的管理目标，关键是引导飞行员进行“规范的着陆操作”。

9.2 设计

对“规范的着陆操作”进行业务分解，明确着陆过程中的关键环节，定义出能够有效反映着陆质量的关键指标（KR），构建着陆操作的绿色参数体系。具体方法如下：

9.2.1 过程业务分解

为了达到管理目标，运营人需要对着陆的操作过程进行深入业务分解，明确什么样的操作才是符合技术规范的。机队经过对技术手册深入学习、和 OEM 技术探讨、内部飞行专家组研讨，最终确定规范着陆操作应具备以下特点：“准确的下滑点和稳定

的下滑线、固定的进跑道高度、合适的拉开始高度、恰当的收油门时机、稳定的着陆方向和位置（在中心线）、较轻的着陆载荷、符合预期的着陆距离、一致的着陆剖面 and 下沉.....”这种定性的描述符合飞行员对于“好着陆”的认知，但关键是将这些定性的描述转化成符合 SMART 原则的指标。

9.2.2 QAR 事件参考

分析参考 QAR 事件管理中的相关参数，结合业务分解的实际需求，可选择性的使用部分参数纳入“绿色参数”管理。当然，需要将数据超限阈值的比较方式转为 ROM 数据测量，才能符合绿色参数的基本要求：

表 3 通过 QAR 事件维度提取出着陆关键点参数

QAR 三级事件	着陆 ROM 测量数据
着陆坡度大（>6°）	着陆期间最大坡度值
接地姿态小（<0.5°） 接地姿态大（<90%擦机尾角）	接地时刻姿态
着陆减推力晚 (接地后收油门>1 秒)	收油门时机
接地点靠后（<150 米） 接地点靠前（>900 米）	接地点至跑道入口距离
着陆载荷大（>1.8G）	接地前 2 秒至后 5 秒最大载荷
着陆滑跑方向不稳（>5°）	着陆滑跑最大航向偏差
刹车过猛（>0.6G）	减速控制过程柔和、一致性

9.2.3 绿色参数确定

综合上述方法，结合专家组意见，可以得到着陆阶段的绿色参数。最终选定 5 大模块，20 个维度。参数如下表所示：

表 4 着陆模型参数指标

参数模块	参数序号	绿色参数
高度 A1	B1	进跑道高度
	B2	拉开始高度
	B3	接近拉平高度
能量 A2	B4	收光油门时机
	B5	减速控制指数
纵向 A3	B6	接地姿态
	B7	姿态控制指数
	B8	擦机尾指数
	B9	放前轮控制
横向 A4	B10	最大坡度
	B11	坡度指数
	B12	滑跑航向偏离
	B13	滑跑位置最大偏差
	B14	滑跑位置偏差指数
效果 A5	B15	着陆载荷
	B16	5 英尺下降率
	B17	接地点距离
	B18	下滑点稳定
	B19	着陆曲线控制
	B20	大行程晃杆

9.3 开发

9.3.1 绿色参数权重的计算

完成绿色参数选取后，还需要针对不同的参数赋予不同的权重。通过飞行专家组问卷调查，利用 AHP 为不同维度设置分值，为便于计算和符合日常习惯，将满分设置为 100 分。

表 5 着陆模型指标权重

参数序号	参数名	权重值
B1	进跑道高度	5
B2	拉开始高度	6
B3	接近拉平高度	7
B4	收光油门时机	3
B5	减速控制指数	5
B6	接地姿态	5
B7	姿态控制指数	6
B8	擦机尾指数	3
B9	放前轮控制	3
B10	最大坡度	5
B11	坡度指数	4
B12	滑跑航向偏离	4
B13	滑跑位置最大偏差	6
B14	滑跑位置偏差指数	5
B15	着陆载荷	7
B16	5 英尺下降率	5
B17	接地点距离	5
B18	下滑点稳定	6
B19	着陆曲线控制	5
B20	大行程晃杆	5

9.3.2 绿色标准的设定

确定着陆操作的绿色参数和权重后，下一步需设定对应的绿色标准。首先，针对业务需要选择最合适的 QAR 原始参数；其次，需要确定绿色参数对应的时间点或区间；然后使用恰当的数学方法实现对相应参数的计算。

表 6 绿色参数计算样例

绿色参数	原始 QAR	测量点	计算方法	备注
接地姿态	飞机俯仰姿态	接地时刻	当前值	单一参数 直接测量
进跑道高度 (ILS)	无线电高度、地速、下滑道偏离值	通过跑道端头时刻	组合函数	多维度参数 组合计算
放前轮控制	起落架空地电门	主轮接地至前轮接地时间	时间差	单一参数 差值计算

完成上述操作后，可对绿色模型中每一个绿色参数进行精确的数字化描述。再利用专业的 QAR 分析软件编写应用程序，采集并计算每段航班各绿色参数对应数值。

本案例选取了 24 万段航班 QAR 数据进行译码分析，剔除异常数据后计算出每段航班各绿色参数实际值。

进跑道高度	拉开始高度	接近拉平高度	油门动作下降率	减速控制	接地姿态	着陆姿态控制	擦机尾风险	放前轮时间	着陆最大坡度
50	25.1	10.5	-456	1	6.8	0	9	4.3	1.8
57.4	25.9	25.9	-376	1	5.2	0	5.8	3	1.6
51.7	33	13.3	-520	0	4	0	5.1	2	2.2
48.8	20.7	8.9	-488	0	5.4	0	6.3	2.5	1.3
53.4	20.6	12.2	-376	1	3.9	1	5.3	2	1.1
50.9	27	17.7	-352	0	4	0	5.2	2.3	1.1
51.6	20.4	15.9	-344	2	3.8	0	4.6	4.3	1
48.4	36	16.9	-384	1	5.5	2	6.5	4.3	1.3
55.6	28.8	18.1	-456	2	4.3	0	5.2	2	1.2
50	32.9	24.1	-272	0	5.8	0	6.9	2.3	1.5
50	25.1	10.5	-456	1	6.8	0	9	4.3	1.8

图 7 QAR 数据示例

以参数“拉开始高度”为例，选取部分航段计算得到飞行参数的均值、方差和中位数，分别为：

$$\bar{x} = 30.4、\sigma = 5.99、x_{\text{中位数}} = 30.8$$

进行正态分布检验，其分布图表示为：

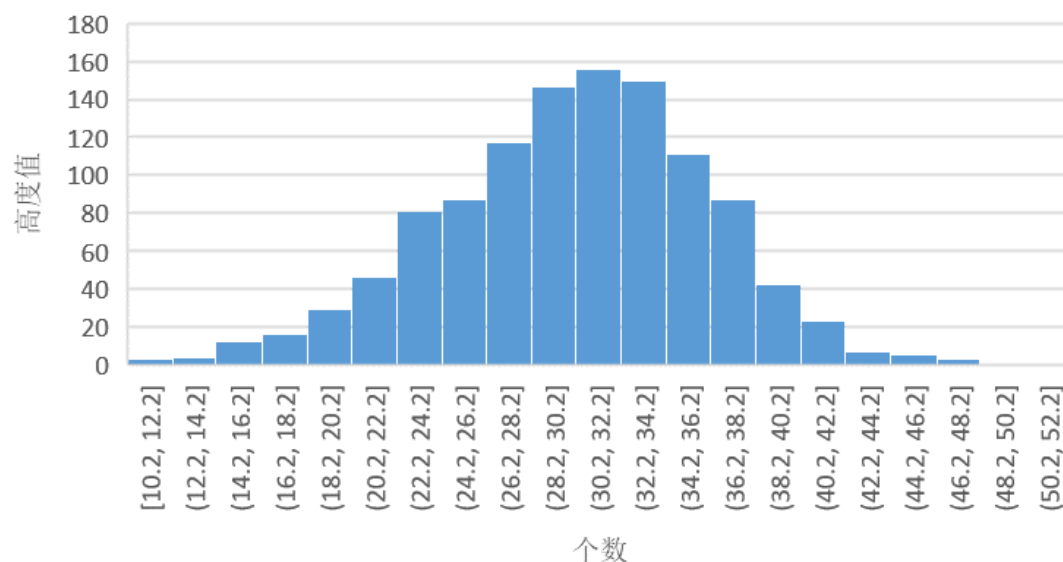


图 8 参数正态分布图

通过 K-S 正态检验，得到结果如下表：

表 7 着陆模型参数指标

H	P
0	0.69

其中 $H=0$, $P=0.69>0.05$, 表示样本数据服从正态分布的原假设。

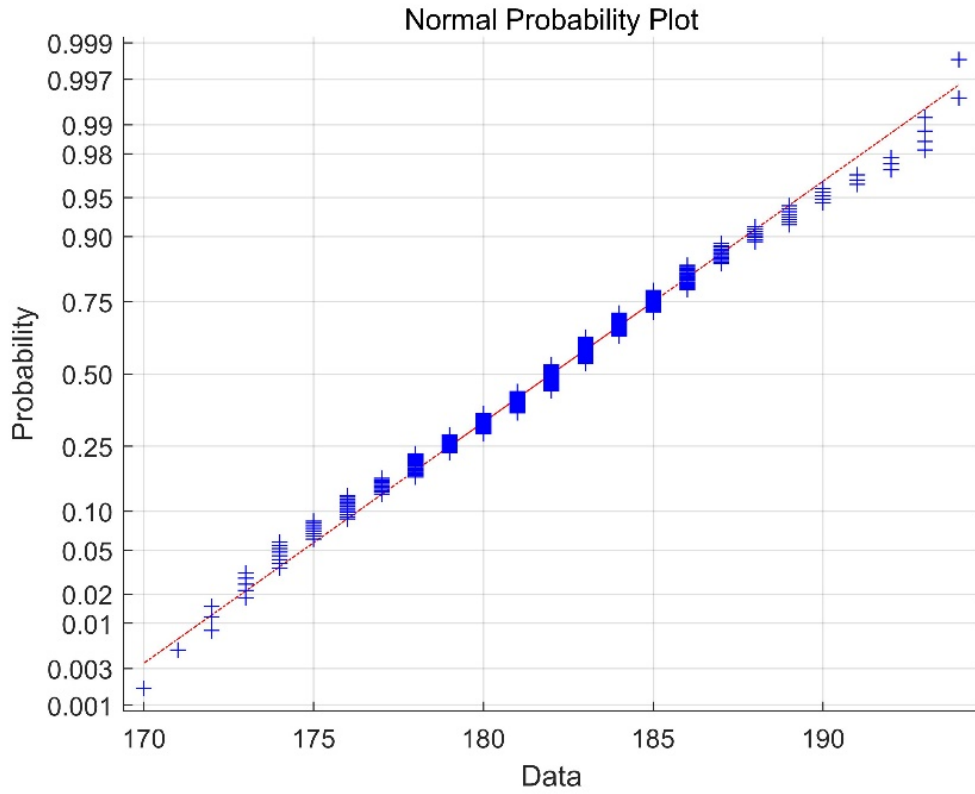


图 9 正态分布检验概率图

可以得到正态分布函数：

$$G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi * 5.99}} \exp \frac{-(x - 30.4)^2}{2 * 35.88}$$

根据正态分布的性质结合标靶航班数据，可以初步得到参数的绿色区间和超限区间。之后参考飞行员反馈意见对模型进行优化改进，最终建立绿色标准，同时设定绿色区间和超限区间。其分别表示为：

$$(N_a, N_b) = (23, 37)$$

$$(E_a, E_b) = (17, 42)$$

9.3.3 绿色模型的建立

经过业务拆解和数据论证后，得到“绿色参数、绿色权重、绿色标准、绿色区间和超限区间”，以此构建绿色模型：

表 8 着陆评价模型表

序号	绿色参数	绿色权重	绿色标准	绿色区间	超限区间
1	进跑道高度	5	50	45 - 55	<39 or >61
2	拉开始高度	6	30	24 - 37	<17.5 or >41
3	接近拉平高度	7	19	12 - 26	<8 or >34
4	收光油门时机	3	-400	(-520) - (-280)	<-610 or >-200
5	减速控制指数	5	0	< 1	>4
6	接地姿态	5	5.1	4.2 - 5.9	<3.5 or >6.5
7	姿态控制指数	6	0	< 1	>4
8	擦机尾指数	3	6.4	< 7.2	>8.3
9	放前轮控制	3	2.7	2.1 - 3.4	<1.5 or >4.2
10	最大坡度	5	1.6	< 2.1	>3
11	坡度指数	4	0.7	< 0.9	>1.3
12	滑跑航向偏离	4	1.7	< 2	>3
13	滑跑位置最大偏差	6	1.5	< 2.2	>5
14	滑跑位置偏差指数	5	0.6	< 0.95	>1.7
15	着陆载荷	7	1.25	< 1.35	>1.45
16	5 英尺下降率	5	-250	(-330) - (-150)	<-400 or >-100
17	接地点距离	5	540	390 - 650	<330 or >750
18	下滑点稳定	6	0	< 2	>5
19	着陆曲线控制	5	0	< 1.8	>4
20	大行程晃杆	5	0	< 1.5	>5.5
合计		100	-	-	-

上述表格中各数据含义：

(1)**绿色标准**：通过大样本均值计算和标靶航班数据修正设定的理想数值，此数值为期望的规范操作提供了标准。

(2)**绿色权重**：使用不同绩效分值表达绿色参数的不同权重，分值越高代表此项绿色参数对着陆操作的影响越大。

(3)**绿色区间**：根据大样本航班数据，计算得到正常区间，作为飞行员满分操作的评价依据。

(4)**超限区间**：通过选取置信区间确定超限区间，作为飞行员操作出现重大偏差的判断依据，单项绿色参数的绩效分值会全部扣完。

9.3.4 数据修正

上述着陆绿色模型仅针对理想条件下的着陆评判，现实飞行中，由于外部环境的不确定性有可能使得绿色模型的评价失真。为了避免绿色模型的绩效评价偏离飞行员的预期，需要对已知的外部干扰完成数据修正。影响因素通常包括：风、非标准 3° 下降、短窄跑道、跑道坡度、不同着陆襟翼、人工推力、个人操作习惯等。

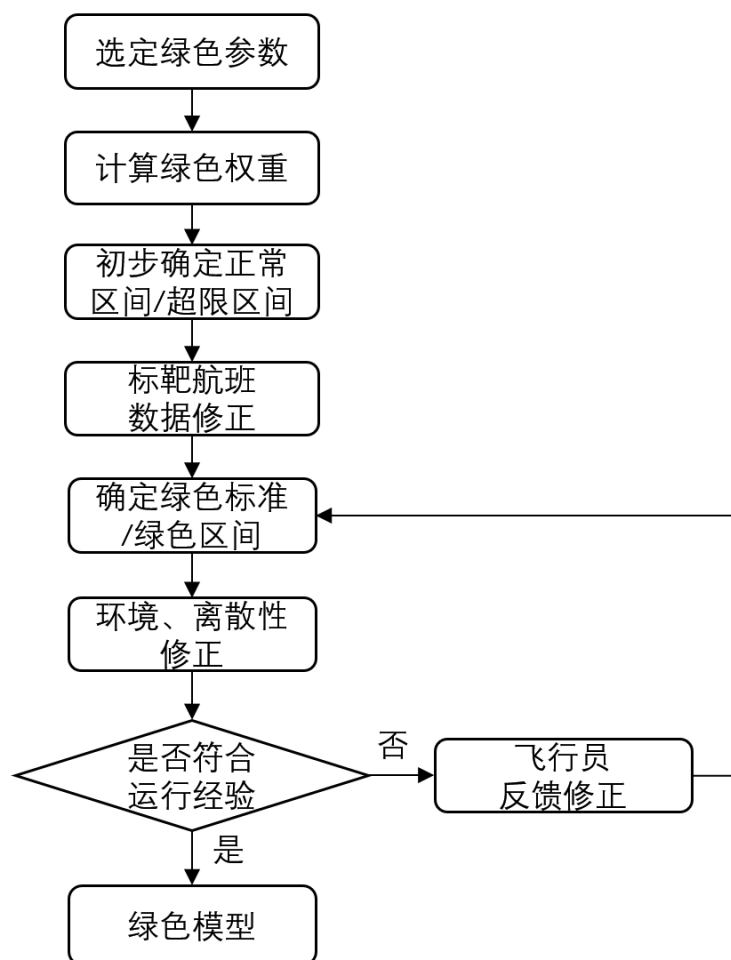


图 10 绿色 QAR 模型建立流程图

9.4 实施

在完成绿色着陆模型后，运营人还需开发数字化工具，将着陆操作正向引导和管理需求固化到系统中。利用移动端工具，及时、高效、精准的将绿色着陆数据推送至飞行员，使其能够清晰地对比实际操作与绿色标准之间的差距，从而在不断的及时反馈和自我改进中提升着陆技能。



图 11 绿色 QAR-FPM 着陆绩效报告

着陆模型还能为 PLM-FPM 着陆能力评价提供数据支撑。管理者使用基于数据的管理规则，可以让技术过硬的飞行员获得更多的锻炼机会；同时识别技术短板的飞行员，安排优秀教员针对性带飞，帮助其快速提升操作技能。



图 12 移动端趋势图

副驾驶搭配机长操作限制

- 2) 副驾驶飞行品质数据-着陆分析的近期趋势中: 平均得分为 83 分 (不含) 以下, 或被操作干预次数为 3 次 (含) 以上; ⚡
- 3) 副驾驶在前 30 个日历日着陆操作次数小于 2 次, 副驾驶前 30 个日历日夜航着陆次数少于 2 次 (如需在夜间操作飞机着陆) ⚡

图 13 管理规则图示

通过对绿色着陆模型评分的统计分析, 还可找到出不同机场不同环境下的运行特点, 识别操作难度, 找出运行风险; 此外, 机队着陆分值的变化, 可反映出安全风险的变化趋势, 及时制定针对性的风险管控措施, 安全关口前移, 确保“过程一切正常”。

9.5 评估

该航司 2019 年初正式推出绿色着陆模型后, 近几年重着陆次数和概率均大幅降低, 超过 1.8G 事件相比之前减少近 70%。通过 OKR 过程分解, 最终达成预定的 KPI 指标 (降低重着陆触发率)。

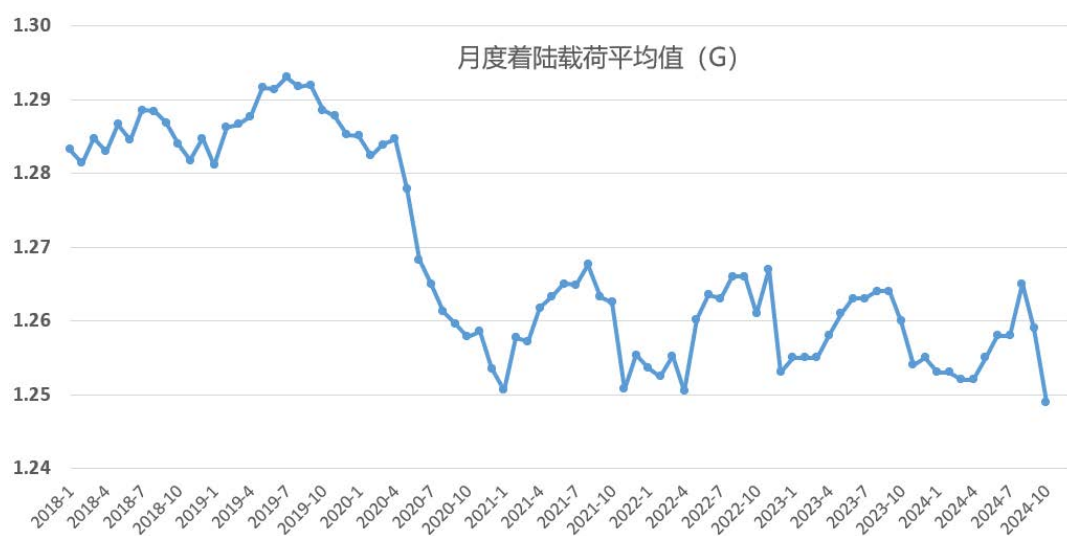


图 14 着陆载荷月平均值趋势图（2018.1-2024.10）

表 9 重着陆触发次数和触发率对比（2018.1-2024.10）

着陆载荷	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024 截止 10 月
大于 1.8G 次数	14	3	5	5	5	8	-
大于 1.8G 触发率(%)	0.026	0.005	0.011	0.012	0.016	0.013	0.006
大于 1.6G 触发率(%)	0.19	0.14	0.10	0.09	0.08	0.10	0.11
大于 1.5G 触发率(%)	0.85	0.73	0.60	0.54	0.42	0.56	0.52

10 附件

附件 1: 绿色权重计算方法

通过专家问卷方式, 使用 AHP 设定初步指标权重。首先需要参考专家评价, 通过对比两两不同元素之间的重要程度, 采用 1 到 9 来衡量这两个参数之间的相对重要性; 进而可以利用 AHP 定量表示各元素间的相对重要程度。

之后需要计算准则层指标及不同参数相对权重的问题, 对判断矩阵 A 最大特征值进行计算, 并得出其对应的特征向量, 即需要满足:

$$AW = \lambda_{\max} W$$

式中, 特征向量 $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ 被看作该层次中 n 个要素的优先权重向量。

假设判断矩阵 A :

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

根据判断矩阵可以计算得到相对权重, 按行相乘得到新向量:

$$A_i = \prod_{j=1}^n a_{ij}, i=1, 2, \dots, n$$

对其中的每个分量开 n 次方, 得到:

$$M_i = \sqrt[n]{A_i}$$

把所得到的向量归一化后, 即为权重向量:

$$W_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^n M_i}, i=1, 2, \dots, n$$

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{w_i}$$

最终得到

$$W = (w_1, w_2, \dots, w_n)。$$

一致性检验

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

其中， CI 是一致性指标， RI 为平均随机一致性指标， CR 为一
致性比率。当 $CR < 0.1$ 时，判断矩阵具有令人满意的一致性。一般
情况下 $CI \leq 0.1$ ，则认为判断矩阵具有一致性，计算得到的值是可
以接受的。

AHP 权重分析流程图如下：

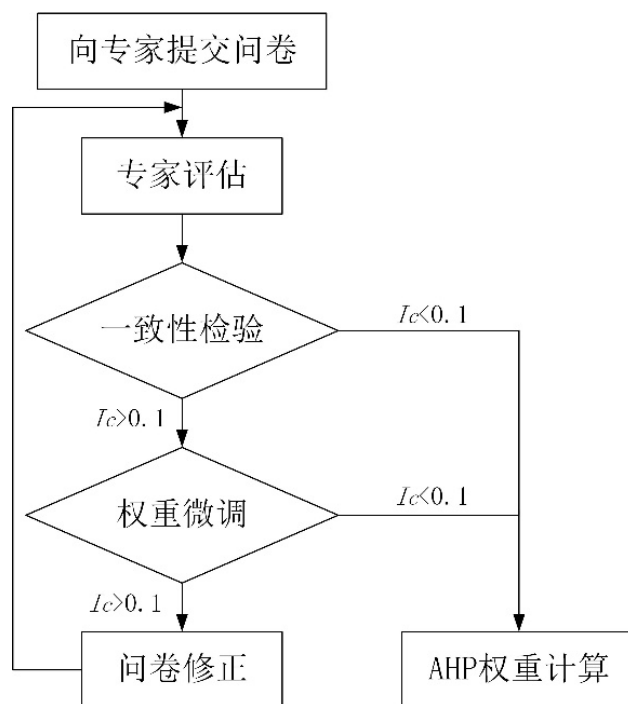


图 15 权重分析流程图

附件 2：绿色标准计算方法

基于现有的绿色参数，建立飞行技术量化评价标准。结合数学函数方法和航司一线运营经验，充分考虑实际飞行中的环境因素和人为因素。首先通过 K-S 检验方法对绿色参数进行正态分布检验，验证参数符合正态分布；之后采集实际运行的 QAR 数据并进行预处理，计算均值、方差和中位数等，根据正态分布的性质和飞行员经验值初步划分各个指标的正常区间和超限区间；再参考标靶航班数据进行修正，得到标准的区间范围；最后根据环境影响对评价值进行修正，从而建立飞行技术量化评价模型。**正态分布检验：**

通过对 QAR 大数据统计分析，大部分飞行参数，例如进跑道高度、接地距离、着陆载荷和着陆坡度等在大样本($n>100$)中都近似表现为正态分布。

根据收集到的 A320 机型 QAR 数据，对各维度进行正态分布检验，其中 x 代表整个数据样本， X_i 表示其中的样本值，计算样本的均值 μ 和方差 S^2 ：

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, i \in [1, n]$$

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}), i \in [1, n]$$

利用 K-S 正态检验方法对数据样本进行检验，该方法属于非参数检验，是一个比较样本频率分布与标准正态分布的检验方法；通过计算显著性值 P ，判断样本数据是否符合正态分布。

若检验结果符合正态分布，则该 QAR 数据样本 x 服从正态分布 $N(\mu, \sigma^2)$ ，再对样本的方差进行偏差修正后得到其无偏估计：

$$\sigma^2 = \frac{n}{n-1} S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2, i \in [1, n]$$

当样本中的数据量越大，则样本的方差和均值越接近总体的方差和期望；可以得到该机型起飞离地速度的分布密度函数：

$$G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp \frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}$$

其中， $G(x)$ 表示地速(Ground Speed, GS)的分布密度函数， μ 为均值， σ^2 为总体方差的无偏估计。标准正态分布如下图所示：

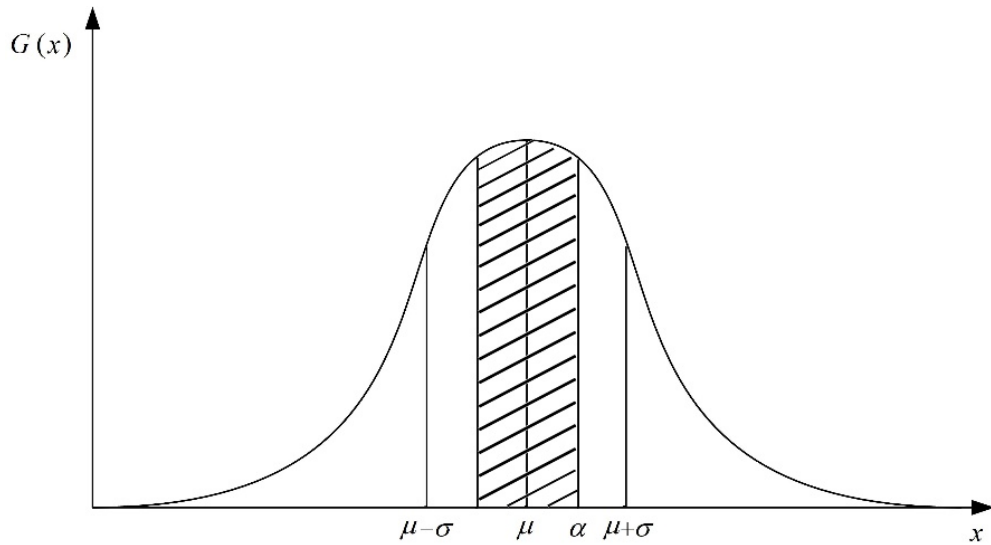


图 16 标准正态分布分布图

目标区间的计算：

绿色模型中飞行参数正常区间和超限区间的计算是重要的一环；通过计算两个区间的范围，可以判定样本中的数据是否超限，若超限则扣除相应的分数，从而量化不同飞行员的着陆操作水平。

利用大量实际航班数据，计算均值、标准差和中位数等，再结合标靶航班数据，设定各维度参考值、参考区间和超限区间等指标。均值可以反映出样本中数据的集中趋势，标准差反映数据的离散程度；机队中的飞行参数平均值和标准差可以有效地体现整个机队的操作水平，进而进行飞行操作评价。

样本中不同参数的均值表示为：

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n}$$

其中， $\bar{x}$ 表示为样本的均值； $x_1, x_2, \cdots, x_n$ 表示为样本中飞行员不同飞行参数的值； n 为不同参数的数量。

样本中不同参数的标准差表示为：

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n}}$$

其中， σ 表示为样本的标准差； x_i 表示为样本中飞行员不同飞行参数的值； $\bar{x}$ 表示为样本的均值， n 为不同参数的数量。

为了能够反映出飞行员历史操作的误差范围，通常采用区间的形式进行计算，即为区间估计；可以有效地反映不同区间内的分布状况。标准正态分布中 $(\mu - \sigma, \mu + \sigma)$ 的面积为 68.26%；再参考航司和资深飞行员的经验，将其值表示为 α ，则研究中正常区间的范围表示为：

$$(N_a, N_b) = (\mu - \sigma \pm \alpha, \mu + \sigma \pm \alpha)$$

超限区间则是按照航司的飞行品质监控策略进行确定，不同参数的超限区间范围不同，因此需要按照实际的运营情况和资深飞行员的经验提供支持，表示为 (E_a, E_b) 。