

第十届湖南省研究生数学建模竞赛承诺书

我们仔细阅读了湖南省高校研究生数学建模竞赛的竞赛规则。

我们完全明白，在竞赛开始后参赛队员不能以任何方式（包括电话、电子邮件、网上咨询等）与队外的任何人（包括指导教师）研究、讨论与赛题有关的问题。

我们知道，抄袭别人的成果是违反竞赛规则的，如果引用别人的成果或其他公开的资料（包括网上查到的资料），必须按照规定的参考文献的表述方式在正文引用处和参考文献中明确列出。

我们完全清楚，在竞赛中必须合法合规地使用文献资料、软件工具和 AI 工具，不能有任何侵犯知识产权的行为。否则我们将失去评奖资格，并可能受到严肃处理。

我们郑重承诺，严格遵守竞赛规则，以保证竞赛的公正、公平性。如有违反竞赛规则的行为，我们将受到严肃处理。

我们授权湖南省研究生数学建模竞赛组委会，可将我们的论文以任何形式进行公开展示（包括进行网上公示，在书籍、期刊和其他媒体进行正式或非正式发表等）。

我们参赛选择的题号是（从组委会提供的赛题中选择一项填写）：B 题

我们的参赛编号（请填写完整参赛编号）：202518001016

所属学校（请填写完整的全名）：国防科技大学

参赛队员（打印后签名）：1. 甄星宇
2. 刘子涵
3. 张恩霖

指导教师或指导教师组负责人（打印后签名）：

日期：2025 年 8 月 27 日

（请勿改动此页内容和格式。以上内容请仔细核对，如填写错误，论文可能被取消评奖资格。）

第十届湖南省研究生数学建模竞赛

题目：民用航空运输机场安全保卫防范系统脆弱性评估

摘要：民航机场安检系统的科学评估与绩效优化对保障空防安全至关重要，但面临数据缺失、评价主观和资源分配不合理等挑战。

针对问题一：我们基于岗位违规、X 光机操作与内部测试等多源数据，构建了一套包含质控强度、优秀度、风险控制能力等 6 项指标的评价体系，并采用层次分析法（AHP）确定权重，实现了对旅检大队 4-6 月质控情况的量化综合评价。结果表明，5 月质控表现最佳（综合得分 97.90），6 月因数据记录疏漏和暗测通过率低等问题评分最低。提出加强暗测训练、优化质控流程等建议。

针对问题二：通过分析绩效奖金结构与二次分配机制，引入熵权法客观确定过检率与绩效积分的权重，并将二次分配结构模型参数化，提出了“哑铃型”二次分配档次结构，优化奖金分配的公平性与激励性。结果显示，新方法降低了奖金离散程度，减少了高奖金变动率人数，保护了低奖金人群的积极性，提升了整体满意度。

针对问题三：从安全漏洞、管理能效与资源分配三个维度进行定量分析，指出 6 月安全风险较高、数据记录规范性差、人力资源配置滞后等问题，并提出以安全为核心、数据驱动的闭环管理优化策略。

针对问题四：设计了一套结构化、标准化且与脆弱性评价紧密关联的数据收集表，涵盖暴露程度、敏感性与适应能力三类指标，并建立基于熵权法的 TOPSIS 系统脆弱性评估模型。设计了一套适合用于绩效评估的数据收集表，采用层次分析法和熵权法综合，分别为一级指标和二级指标确定权重，沿用原有的排名分档二次分配制度，为绩效合理分配提供了有力参考。

关键词：民航安检；层次分析法；熵权法；绩效分配；脆弱性评估；TOPSIS

目录

1 问题综述.....	1
1.1 问题背景.....	1
1.2 问题提出.....	2
1.3 资料条件.....	2
2 模型假设与符号说明.....	3
2.1 模型基本假设.....	3
2.2 符号说明.....	3
3 数据预处理.....	3
3.1 质控情况汇总表的预处理.....	3
3.2 过检率表格的预处理.....	4
4 问题一分析及模型建立.....	4
4.1 问题一分析.....	4
4.2 数据的初步统计与分析.....	5
4.3 基于层次分析法的评价模型.....	7
4.3.1 层次分析法.....	7
4.3.2 层次分析法模型建立.....	8
4.4 问题一分析与建议.....	9
5 问题二分析与模型建立.....	9
5.1 绩效奖金结构分析.....	9
5.2 绩效奖金数据统计分析.....	10
5.3 基于熵权法评分和哑铃型二次分配档次设计的绩效奖金分配.....	14
5.3.1 基于熵权法的评分权重设计.....	14
5.3.2 哑铃型二次分配档次设计.....	18
5.4 绩效奖金分配建议.....	19
6 问题三分析与定量研究.....	19
6.1 旅检人力资源压力统计分析.....	20
6.2 多角度问题分析.....	21
7 问题四分析与模型建立.....	22
7.1 数据收集表格优化设计.....	22
7.2 基于 TOPSIS 的安检系统脆弱性评估.....	23
7.3 绩效奖金分配建模和建议.....	24
8 模型评价与推广.....	25
8.1 模型的优点.....	25

8.2 模型的不足.....	25
8.3 模型的改进.....	25
8.4 模型的推广.....	25
参考文献.....	26
附录.....	27
附录 A 数据预处理代码.....	27
附录 B 问题一代码.....	29
附录 C 问题二代码.....	34
附录 D 问题三代码.....	38

1 问题综述

1.1 问题背景

民用航空行业是我国经济发展和社会进步的一个重要支柱，同时也是国家大力支持、引领前沿技术的高风险行业。民航行业的安全运行不仅影响到旅客的安全出行和自身利益，而且直接关系到整个国家的经济进步和社会稳定。随着民航业的快速发展，民航运输系统的规模越来越大，民航机场的吞吐量和年起降架次不断创新高，如何科学有效地衡量、评估机场保障能力成为一件亟需解决的问题。

安全是民航永恒的主题，航空安全管理的能力和水平是影响和制约航空发展的基本要素。探讨符合中国特点的民航安全管理技术与方法，构建民航持续安全框架，对于提高民航安全水平、实现民航持续安全具有重要意义。现代机场集成安检、行李处理、航班调度等数十个子系统，成为了一个复杂的巨系统，任一环节漏洞（如围界入侵、安检失效）均可能引发连锁风险。自“9·11”事件后，民航成为恐怖分子重点目标，劫机、爆炸、生化袭击等新型威胁不断涌现，迫使安保系统需持续升级应对能力。然而，目前民航安检存在包括走私、劫持航空器、网络攻击等的非法干扰行为多样化，传统安防手段难以覆盖全风险谱系。安检疏漏、内部人员作案、应急响应迟缓等人为失误占安全事故的 30% 以上。部分机场仍依赖传统模拟监控和人工安检，而新型威胁（如隐形爆炸物、无人机干扰）需智能识别、大数据分析等新技术支撑。在此背景下，国际民航组织（ICAO）标准要求缔约国建立系统化的航空保安管理体系（SEMS），定期开展脆弱性评估并优化措施。同时，中国民航法规也进一步强化，如《国家处置劫机事件预案》《航空保安审计制度》等，明确将脆弱性评估纳入安全审计核心内容。

安全检查工作可以说是守护空防安全的最后一道关口，其质量控制至关重要。然而与高速增长运输生产量相比较，机场的安全检查工作普遍存在安全基础薄弱，安全管理的规范化程度不高，智能化及前沿技术应用不充分等问题。安全检查工作质量参差不齐，行业发展滞后已成为民航业快速发展的瓶颈。

传统的对于航空保安管理体系的研究大多立足于宏观层面，分析各部分的内在关系，给出一些指向性的优化建议。如余宏等人通过结合某机场安检护卫部的实际运行经验，按照空防安全防范重点和合理分配质控资源的原则，提供一套“1+12345 安全质量控制模型”的搭建思路，从安检实际质控需求出发，综合考虑质控资源、任务量、岗位安全风险等因素，以不增加人力成本为切入点，通过风险事件评估、典型案例分析、数据统计运用等方法提出了“岗位分类分级质控”的理念。Arcúrio 等人开发了一个用于评估和管理机场安检流程中人为因素风险的系统化工具——风险矩阵，并在两个机场完成实地测试，取得了一定成效。王珺研究了 XZ 机场安检部门航空安保管理问题，分别从组织保障、目标管理、风险管理、运行管理四个子系统给出了管理系统的优化调整措施。陈磊等人通过资料研究法、访谈调研法和问卷调查法等方法，深入研究了 D 机场的安检管理问题，发现了在安全政策、风险管控、管理水平、保证措施四个方面的不足，提出了一系列管理和保障措施。

以上研究对于机场旅检部门的安全管理、质量控制、员工管理、资源分配等方面具有指导性意义，为部门的管理调配提供了理论依据。但是，由于研究主要停留在定性层面，缺少量化评估概念，在实际管理落实中容易发生中断，难以推行以及推行后

管理成效不明显，评估不明确的情况。

量化评价的优点是利用了统计分析的方法，更充分地利用日常管理中伴生的大量数据，比较客观地反映管理的效果，直观的数据也更易于理解，方便管理落实，是和定性分析互补的一种评价方法。韩迎亚通过调查分析找出影响离港系统运作安全的因素，构建离港系统运作稳定性的综合评价指标体系，再结合所得数据的权重分配，利用多级模糊评价的方法对离港系统的整体安全性水平进行评估。SKORUPSKI 等人使用模糊推理模型于评估机场安检通道中步行通过式金属探测门的有效性。此外，他们还使用模糊推理模型，根据安检人员的工作经验、培训时间、工作态度等指标来评估员工的工作表现。Sun 等人通过细化乘客个体特征与行为特征，采用贝叶斯神经网络建立机场值机和安检人员分配优化模型，可有效优化人员配置，显著降低总成本和平均排队时间。刘玲莉等人采用熵权法-TOPSIS 法评估机场运行脆弱性。孙维璟采用综合 G1-熵权法结合云模型评估民航中小机场地面综合保障能力。荆增强采用 AHP-熵值法综合权重，结合专家评级来评估机场运行安全风险。

以目前安全检查设备的智能化程度来看，民用航空运输行业的安检系统运行仍然依赖于人的执行。完善旅检员工的管理制度，客观科学地评价安检的安全风险和质量控制水平，合理地评价员工的表现或绩效，综合安全、管理、资源多方面条件，对民航安检系统的良性发展有重要意义。

1.2 问题提出

题目中给到的数据来自于运营实际，存在数据缺失，记录数据错误的问题，同时，运营记录的数据一般按天记录，不能直接用于评价，需要使用统计的手段，转化为一个时期或局部的统计指标。附件给出了民航机场某旅检大队某年的一些质控情况、绩效奖金、过检率、组织架构等数据，我们需要根据给出的数据完成以下问题：

- (1) 问题一：从岗位违规、X 光机、内部测试、重点违规等数据中提取出可能与质控有关的指标，采用评价模型评价大队的质控情况，并给出建议。
- (2) 问题二：综合考虑缺勤原因、实发金额、各档奖金、奖惩情况、二次分配、过检率与绩效等方面，分析该大队的绩效奖金数据，并从量化角度给出绩效奖金分配建议，表现良好的员工需要足够的奖励，表现较差的。
- (3) 问题三：安全漏洞、管理能效、资源分配三个方面互相制约，定量化分析该大队目前存在的问题时要有取舍。
- (4) 问题四：设计数据收集表格，考虑既收集方便又与评价密切相关的数据。构建系统分析模型，从整体上对该大队的安检系统脆弱性进行评估，并给出绩效奖金分配建议。在分析过程采用定量分析，评估和建议时采取定性分析。

1.3 资料条件

附件给出了组织构架及人员名单，不包含已调岗、离职、实习生的人员。对于问题一，附件还给出了某年 4 月、5 月、6 月的质控情况汇总表，包括岗位违规情况、X 光机值班失误情况、内部测试记录情况、风险分级表。对于问题二，附件还给出了 1-6 月过检率、某年 1-4 月的绩效奖金分配方案、计算过程、分配明细、绩效奖金。

2 模型假设与符号说明

2.1 模型基本假设

- (1) 假设组织架构人员名单没有错误记录的数据，其他表格内人员编号记录无误。
- (2) 假设所提供的各类运营数据（如岗位违规、X 光机记录、内部测试、过检率、绩效奖金等）在预处理后具有代表性和可靠性，可用于后续建模与分析。
- (3) 假设各月份之间的数据具有可比性，即不同月份的数据采集标准、记录方式和执行力度基本一致。

2.2 符号说明

本文没有涉及较多频次的符号使用，相应的符号说明会在使用时加以解释。

3 数据预处理

由于数据来自于运营实际，记录的数据可能存在缺失或错误等情况，特别是在分析员工的绩效时，记录失误导致的评价的情况是不公平的，对评价本身也是不够客观和准确的。附件表格中各表的数据构成各不相同，查证的关注点也各有差异，因此这里的数据预处理按照表格不同一一说明，其他表格的处理会在对应小节说明。

3.1 质控情况汇总表的预处理

质控情况汇总表中岗位违规、X 光机、内部测试三个表单需要预处理，结合风险分级表和表格关键信息，我们设计了三种可能出现的异常情况：

- (1) **空缺行**：此类异常值在该行内仅有零星信息，如仅记录了人员编号，或是日期，我们视为没有有效信息。当该行非空单元格的个数小于 5 个时，我们视为空缺行，选择直接删除该行（未在表 1 中统计）。
- (2) **漏缺值**：此类异常值整体单元格信息较完整，但关键信息却没有填写，如“质控结果”本为必填项。这一项选择根据其他列人为综合判断填写内容。
- (3) **错误行**：此类异常值多为该行内不同列的矛盾，如“优秀”却“低风险”，或是风险评级自相矛盾。这一类异常值以靠左列的记录为准修正靠右列。

按以上准则查找到有问题的异常情况统计如下表：

表 1 异常值统计表

月份	表单	异常值序号
4 月	岗位违规	漏缺值：146 共 1 个 错误行：32、79、101 共 34 个
	X 光机	漏缺值：3、16、164 共 5 个 错误行：17、75、87 共 9 个

月份	表单	异常值序号
5月	内部测试	漏缺值：56、57、63 共 4 个 错误行：共 0 个
	岗位违规	漏缺值：共 0 个 错误行：15、31、32 共 15 个
	X 光机	漏缺值：148、385 共 2 个 错误行：31、60、162 共 8 个
	内部测试	漏缺值：共 0 个 错误行：共 0 个
6月	岗位违规	漏缺值：共 0 个 错误行：18、19、20 共 244 个
	X 光机	漏缺值：324 共 1 个 错误行：34、83、132 共 7 个
	内部测试	漏缺值：14、15、16 共 25 个 错误行：共 0 个

值得指出 6 月份的岗位违规表单中大量缺少风险评定和发生频次等数据，如果并非整理数据时丢失，或许可以考虑为管理的懈怠。

3.2 过检率表格的预处理

首先以组织架构及人员名单为准，为了便于分析，将过检率表格中不在组织架构中的分队去除，如“4-3”、“8-3”等分队编号对应的行。同时删除各个月份表单中不属于本月日期所记录的数据。

对于表中有重复日期记录的情况，我们对重复日期对应的数据取平均值，作为该日真实的过检率数据。若重复记录的日期中，出现某分队只记录了其中一个数据，我们将该数据视为该日数据。

另外，根据过检率表格数据记录的特点，注意到，过检记录大约由勤务一组、勤务二组、勤务三组按顺序依次值班记录。基于此，对于完全没有记录的日期，则按照日期确定值班的勤务组，数据按照本月内距离该日对应勤务组值班最近的两次数据的平均值填充。

4 问题一分析及模型建立

4.1 问题一分析

问题一要求我们根据质控情况汇总表统计分析大队质控情况，对于岗位违规，我们拟统计总的质控考核次数、质控优秀率、问题类型占比、R 值占比。对于 X 光机，

统计当月查获次数、原因分析占比、R 值占比。对于内部测试，统计测试次数、明测暗测占比、明测通过率和暗测通过率。按照此方法，每月份获得的数据仅有一条，因此在评价指标的选择上采用层次分析法来构建指标权重，按照月份评估质控情况。

4.2 数据的初步统计与分析

根据上小结的描述，我们统计出了岗位违规表单中的质控考核次数、优秀次数、各问题类型次数、各 R 值次数；X 光机表单中查获次数、岗位违规次数、判图失误次数、各 R 值次数；内部测试表单中测试次数、明测次数、明测未通过次数、暗测次数、暗测未通过次数。分月份的统计数据展示在下表：

表 2 质控情况统计表

统计量		4 月	5 月	6 月
质控次数		148	186	309
优秀次数		32	51	52
优秀率		21.62%	27.42%	16.83%
问题类型数	C1	83	135	257
	C2	28	0	0
	C3	5	0	0
R 值	1C	113	128	257
	2C	3	5	0
	3C	0	2	0
查获数		353	393	384
岗位违规数		196	169	191
判图失误数		157	224	193
R 值	1C	236	300	269
	2C	90	78	92
	3C	26	15	23
	1B	1	0	0
风险控制率（1C/查获数）		66.86%	76.33%	70.05%
测试次数		64	60	57
明测次数		56	53	22
明测未通过数		19	10	4

统计量	4月	5月	6月
暗测次数	8	7	35
暗测未通过数	2	1	18
总通过率	67.19%	81.67%	61.40%

根据上表进一步计算出相关评价指标如下表：

表 3 各月份各项指标评分表

评价指标	4月	5月	6月
质控强度	47.89	60.19	100
查获强度	89.82	100	97.71
测试强度	100	93.75	89.06
优秀度	78.85	100	61.38
风险控制能力	87.59	100	91.77
检查能力	82.27	100	75.18

其中，质控强度计算方法为

$$\text{质控强度} = \frac{\text{质控次数} - 0}{\text{质控次数}_{max}} \times 100$$

查获强度、测试强度、优秀度（优秀率计算）、风险控制能力（风险控制率）、检查能力（总通过率）计算方法同上。

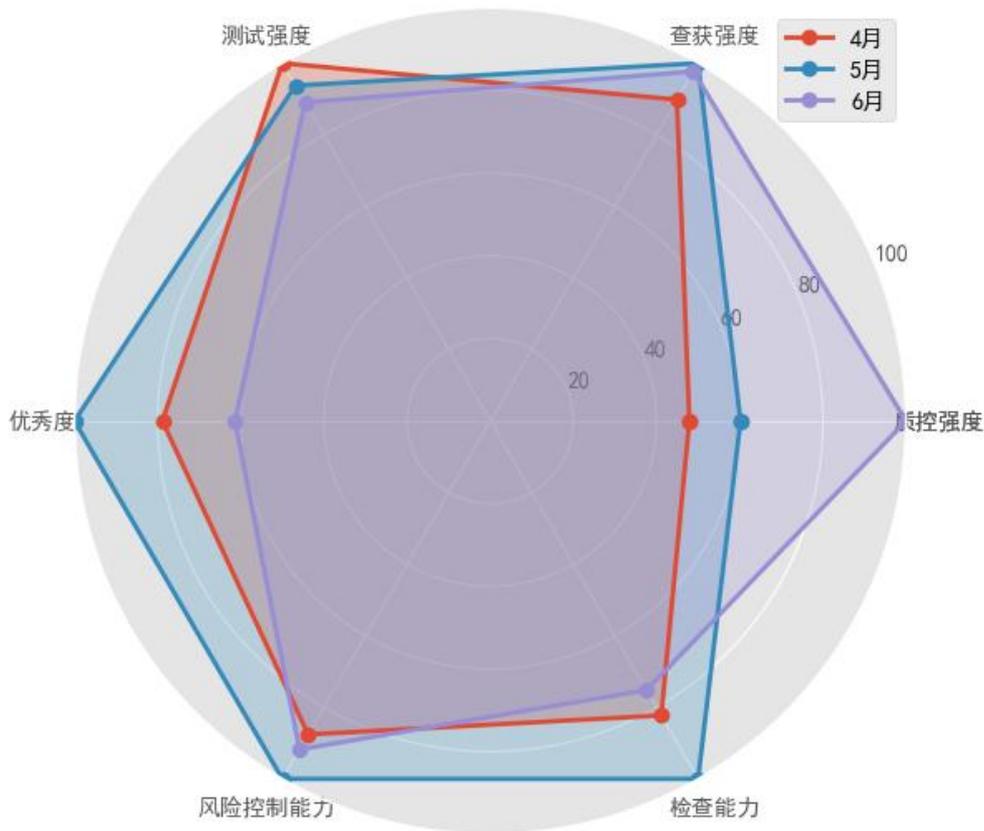


图 1 各月份六项指标雷达图

根据表 3 绘制的雷达图如图 1，各月份在某方面均有突出的表现，需要使用综合评价的方法进一步比较。

4.3 基于层次分析法的评价模型

4.3.1 层次分析法

层次分析法是一种解决多目标的复杂问题的定性与定量相结合的决策分析方法。该方法将定量分析与定性分析结合起来，用决策者的经验判断各衡量目标之间能否实现的标准之间的相对重要程度。层次分析法的建模步骤如下：

- (1) 建立层次结构模型：将决策问题分为目标层、准则层和方案层。
- (2) 构造判断矩阵：对同一层次各元素关于上一层次某元素的重要性进行两两比较，用 1-9 标度法赋值，形成判断矩阵：

$$A = (a_{ij})_{n \times n},$$

其中 a_{ij} 表示第 i 个元素相对于第 j 个元素的重要性程度。

- (3) 层次单排序及其一致性检验：计算判断矩阵的最大特征值 λ_{max} 及其对应的特征向量，经归一化得到层次单排序权重向量 $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 。一致性检验指标为：

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1),$$

随机一致性比例 $CR=CI/RI$ (RI 为平均随机一致性指标), 当 $CR<0.1$ 时, 判断矩阵具有满意的一致性。

- (4) 层次总排序及其一致性检验: 由最高层到最低层, 逐层计算各层次所有因素对总目标的相对重要性权值。设上一层次 A 有 m 个因素, 权重为 a_1, a_2, \dots, a_m , 下一层次 B 有 n 个因素, 相对于 A_i 的权重为 bi_1, bi_2, \dots, bi_n , 则 B 层总排序权重为:

$$b_j = \sum_{i=1}^n a_i b_{ij}$$

总排序一致性检验为 ($CI=(\lambda_{max}-n)/(n-1)$, RI 为平均随机一致性指标), CR 值可计算得到:

$$CR = \frac{\sum_{i=1}^m a_i CI_i}{\sum_{i=1}^m a_i RI_i} < 0.1$$

若成立则通过一致性检验, 说明构建的判断矩阵逻辑合理。

4.3.2 层次分析法模型建立

按照层次分析法确定的层次结构模型如下表:

表 4 层次结构分析表

目标层	质控评价
准则层	质控强度、查获强度、测试强度、优秀度、风险控制能力、检查能力
方案层	4月、5月、6月

构造的判断矩阵如下表所示:

表 5 判断矩阵

	质控强度	查获强度	测试强度	优秀度	风险控制能力	检查能力
质控强度	1	0.333	3	0.25	0.143	0.143
查获强度	3	1	3	0.333	0.333	0.5
测试强度	0.333	0.333	1	0.143	0.111	0.143
优秀度	4	3	7	1	0.333	0.333
风控能力	7	3	9	3	1	3
检查能力	7	2	7	3	0.333	1

其中最大特征根为 6.396, 根据 RI 表查到对应的 RI 值为 1.25, 因此 $CR=CI/RI=0.063 \leq 0.1$, 通过一次性检验。得到各指标对应的权重值如下表:

表 6 指标权重表

	质控强度	查获强度	测试强度	优秀度	风险控制能力	检查能力
权重(%)	4.819	10.347	2.919	16.852	40.126	24.937

使用层次分析法确定的权重计算 4 月、5 月、6 月的总和得分如下：

表 7 月份综合得分表

月份	综合得分
4 月	83.47
5 月	97.90
6 月	83.44

4.4 问题一分析与建议

问题一中我们建立了层次分析赋权的质控评价模型，用于评价当月的质控情况，根据模型的最终结果，我们认为，该旅检大队在 5 月份的质控中表现良好，而在 4 月份以及 6 月份的质控中表现较差。另外，从雷达图可以直观的看出，5 月份的各项指标都处于领先地位。在各月份的统计量表格中，为了便于处理方便，我们将 6 月份大量缺失的风险频次定为了 1C，然而这实际上会拉高 6 月份的评分，同时在数据预处理阶段发现的数据异常，6 月份要远高于其他月份，这也是一种质量控制不到位的表现，当然也可能是因为质控次数的激增导致的反效果。还有，在内部测试中，4 月份的明测通过率以及 6 月份的暗测通过率明显过低，可能表明员工的安检意识减弱、技能生疏。

基于以上分析，我们提出以下建议：

- (1) 加强人员培训针对暗测通过率低的问题，增加不定期暗测频次，提升人员在真实环境中的应急能力和操作规范性；
- (2) 建立基于测试结果的反馈培训机制，对未通过测试的人员进行专项培训；
- (3) 优化质控流程，避免“为记录而记录”的现象，确保每次质控都有实际改进效果；
- (4) 完善数据记录规范，减少漏填、错填现象，提升数据可靠性。

5 问题二分析与模型建立

对于劳动者来说，奖金是付出了足够劳动后应得的反馈。奖金的发放不仅要体现公平，还要依据劳动者的表现来实行适度的奖惩制度，以提高劳动者的积极性。因此针对问题二，我们需要分析该旅检大队的绩效奖金数据，梳理绩效奖金的评估机制，评价绩效奖金的公平性和激励性，才能给出合理的绩效奖金分配建议。

5.1 绩效奖金结构分析

我们首先通过分析绩效奖金表格和奖金分配方案中的信息，搭建出该旅检大队职工的绩效奖金结构图如下：

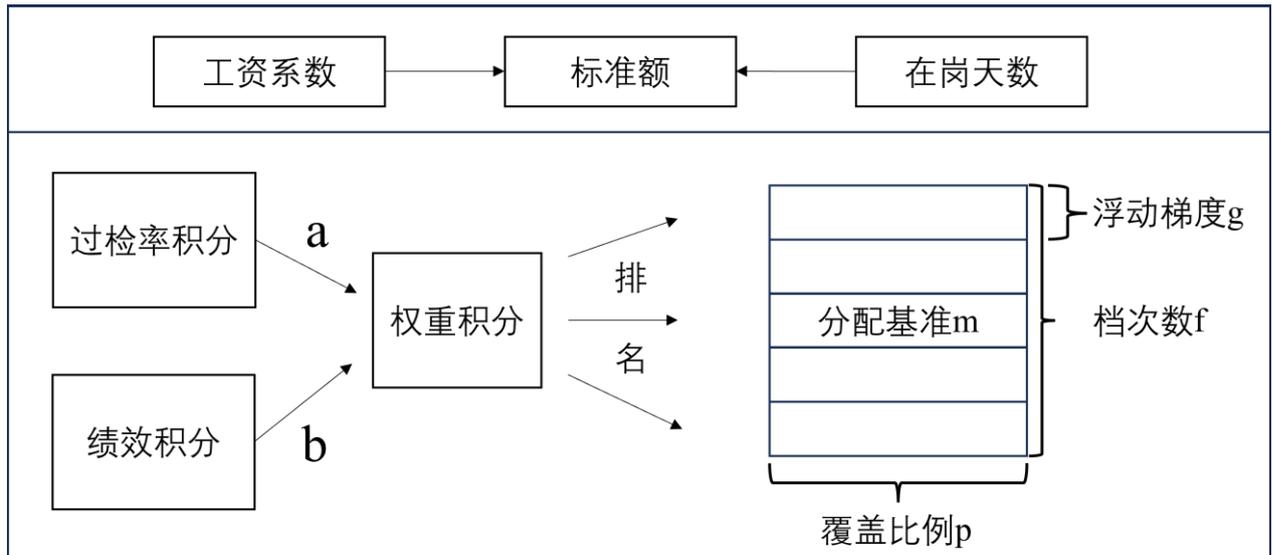


图 2 绩效奖金结构图

如图所示，该旅检大队职工的绩效奖金构成可分为两部分，即由工资系数和在岗天数确定的标准额奖金以及由积分排名确定的二次分配奖金。

对于标准额奖金，工资系数由职工的岗位分级和薪档共同决定，在岗天数由缺勤天数决定，而缺勤一般是因为病假或产假。这一部分奖金的设置客观性强，在一个较长的时期内有充分的合理性，因此在讨论奖金分配问题时不宜改变。

对于二次分配奖金，它的影响因素偏多，但这也体现出了二次分配的灵活性。二次分配奖金的计算可分为两个步骤。第一个步骤是综和过检率积分和绩效积分得到综合积分进行排名，这一步的过检率积分权重 a 和绩效积分权重是可调的，这里旅检大队设置为了等权重，相当于平均积分。第二步是根据排名，按照排名对应的二次分配档次确定二次分配奖金。该旅检大队设置的二次分配制度可由四个参数描述：

- (1) 分配基准 m 。 m 为百分数，对应从总金额中抽出的比例，当 m 为 30% 时，二次分配的基本金额为对应 646 元。随着 m 增大，不同职工总的绩效奖金的差异会增大。
- (2) 浮动梯度 g 。 g 为百分数，代表不同档次的二次分配差异，其他条件不变，当 g 为 25% 时，相邻档次奖金差额为 161.5 元。
- (3) 覆盖比例 p 。 p 为百分数，代表能处在该档次的容量。其他条件不变，当 p 为 20% 时，恰好能分为 5 个档次。如果细化，将不同档次设置不同的覆盖比例，奖金的分配可以呈现出沙漏型或橄榄型。
- (4) 档次数 f 。 f 为正整数，代表档次的分级细致程度。其他条件不变时，档次数越大，奖金的多样性增大，但差异减小。

其中，分配基准 m 独立于另外三个参数。浮动梯度 g 、覆盖比例 p 和档次数 f 之间存在着互相约束的关系。

5.2 绩效奖金数据统计分析

我们以“1-4 月绩效奖金”表格为准，在排除不参与本次二次分配的职工后，统计出

有关“标准额”、“最终实发总额”和二次分配导致的奖金变动率的一系列信息。相关统计量如下表：

表 8 绩效奖金分配前后统计量

统计量	标准额	最终实发总额	奖金变动率(%)
平均值	2165.8	2165.8	0.05
方差	145323.3	174669.5	80.9
标准差	381.2	417.9	8.9
极差	3505.8	3505.8	34

同时还给出了这三个方面的频数分布直方图：

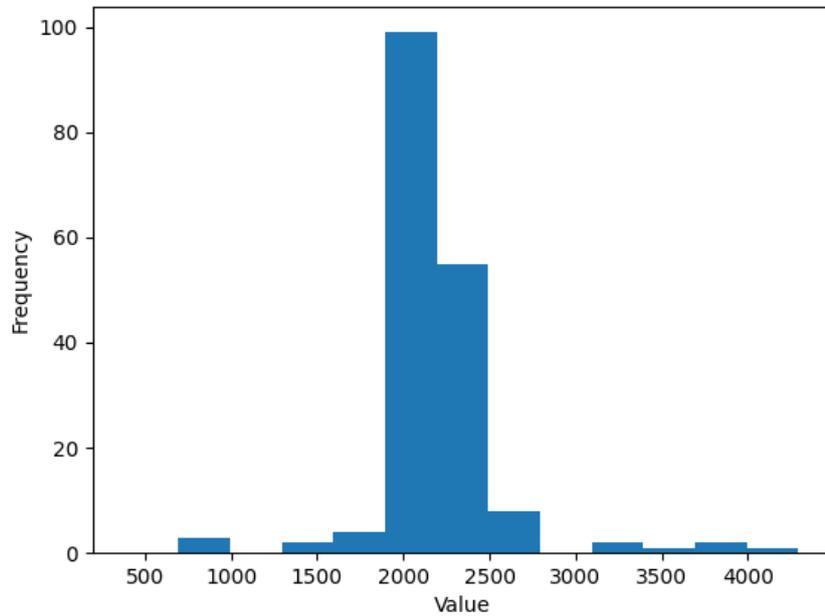


图 3 标准应得奖金频数分布直方图

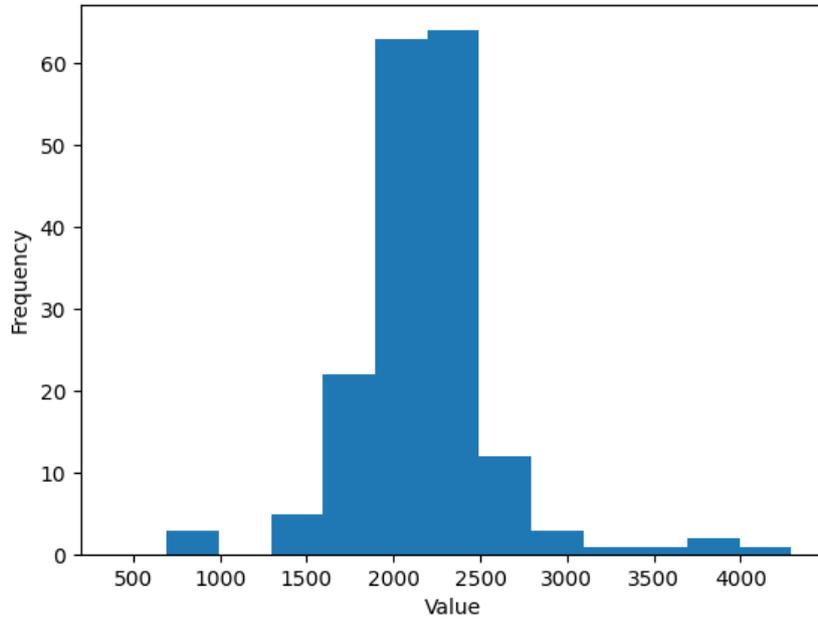


图 4 二次分配后奖金频数分布直方图

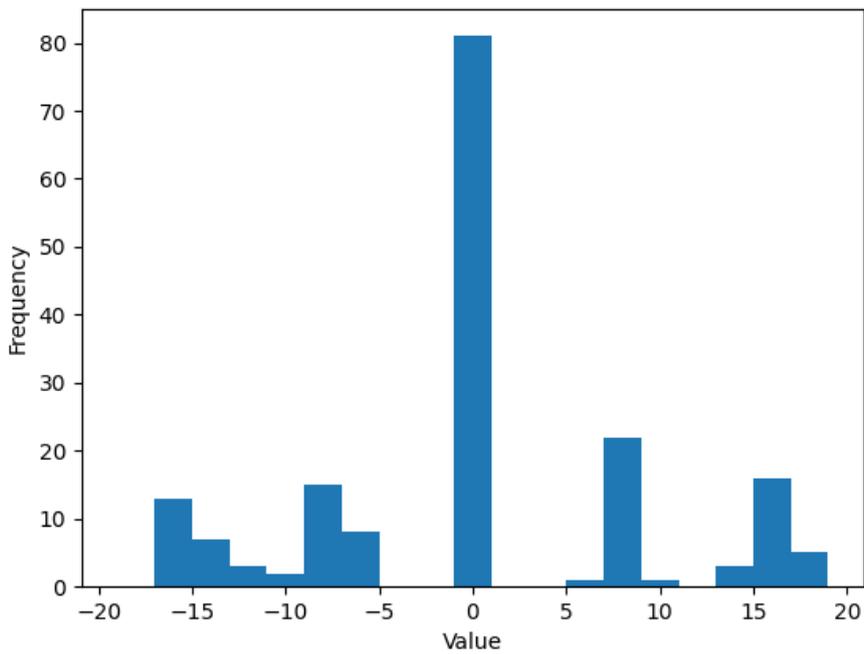


图 5 分配后奖金变动率频数分布直方图

结合图标可以分析知晓，上下对称的二次分配不会影响奖金的平均值，但是会影响奖金的离散程度，一般会使奖金的离散程度更大，体现出了奖金分配的差别化。从奖金变动率方面分析，过大的分配差异可能引起较低档次的职工的不满，不利于提高员工积极性。现有的分配制度使近 20%的人承受了超过 10%的奖金下跌。

我们又进一步统计了分别承受奖金下跌和享受奖金上浮的两部分人群的奖金直方

图，发现无论下跌还是上浮，奖金变动人群也基本集中在平均值附近，且数据分布特点也非常相似。

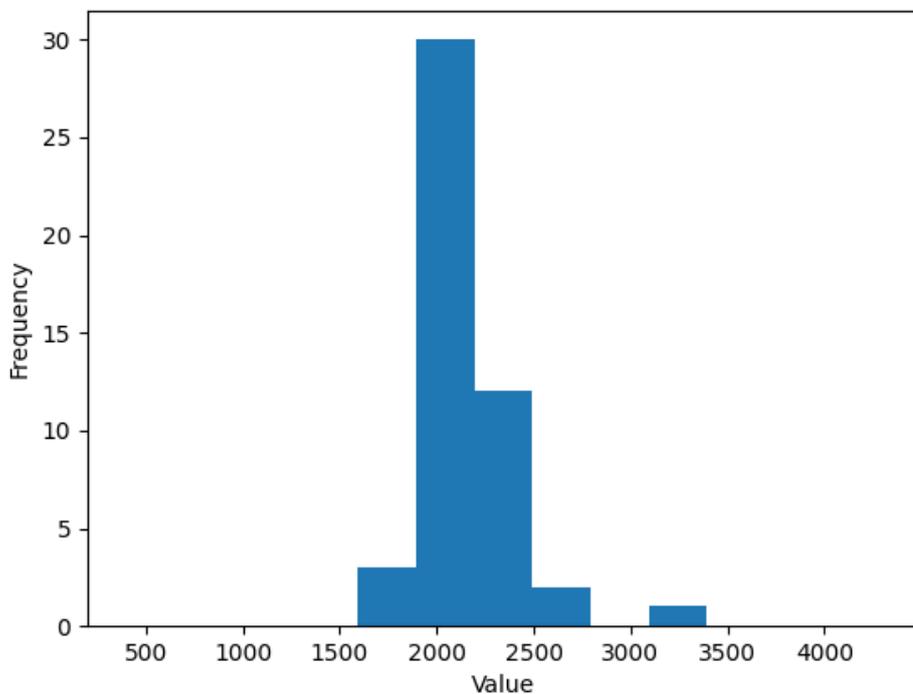


图 6 奖金下跌人群对应的奖金频数直方图

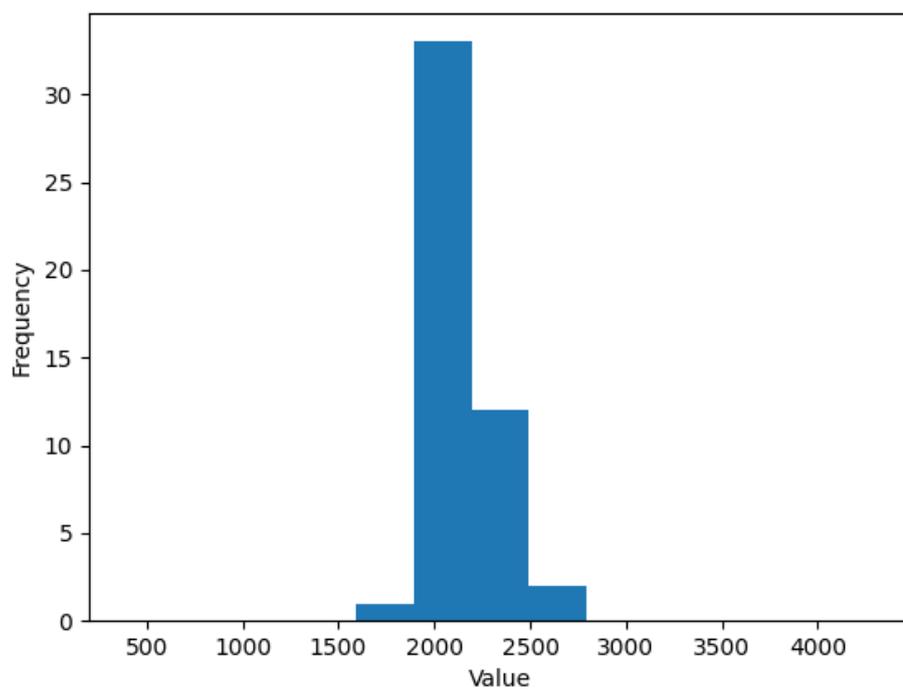


图 7 奖金上浮人群对应的奖金频数直方图

5.3 基于熵权法评分和哑铃型二次分配档次设计的绩效奖金分配

基于前述分析，为了提高评分的客观性，同时保证更公平的奖金分配，我们将建立以熵权法确定权重的评分模型和橄榄型的二次分配奖金模型。

5.3.1 基于熵权法的评分权重设计

以“1-4月绩效奖金计算过程”中的“开机员汇总”和“基础岗位汇总”两个表单展开建模，分别确定两种不同的权重用于专门评价。

根据信息熵的定义，对于某项指标，可以用熵值来判断某个指标的离散程度，其信息熵值越小，指标的离散程度越大，该指标对综合评价的影响（即权重）就越大，如果某项指标的值全部相等，则该指标在综合评价中不起作用。因此，可利用信息熵这个工具，计算出各个指标的权重，为多指标综合评价提供依据。熵权法的分析步骤如下：

- (1) 数据归一化：对原始数据 x_{ij} （ i 为样本， j 为指标）进行标准化处理。对于正向指标，

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)}$$

对于负向指标，

$$y_{ij} = \frac{\max(x_j) - x_{ij}}{\max(x_j) - \min(x_j)}$$

得到归一化矩阵：

$$Y = (y_{ij})_{m \times n}。$$

- (2) 计算概率：

$$P_{ij} = \frac{y_{ij} + \varepsilon}{\sum_{j=1}^m (y_{ij} + \varepsilon)}$$

其中， ε 为避免对数无意义的微小正数，形成概率矩阵：

$$P = (p_{ij})_{m \times n}。$$

- (3) 计算信息熵：

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln P_{ij}$$

其中 e_j 为第 j 个指标的信息熵。

- (4) 计算权重：得到各指标权重 w_j ：

$$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)}$$

根据上述方法分别计算得到“开机员”和“基础岗位”对应的新的评分权重如下。

表 9 不同岗位对应权重表

岗位	过检率积分权重(%)	绩效积分权重(%)
开机员	68.799	31.201
基础岗位	66.902	33.098

根据新权重计算出的新排名与之前的排名产生了一定区别，按照新的排名计算奖金分配后的各项统计量对比如下表：

表 10 熵权法辅助分配与原分配制度的统计对比表

统计量	总额 (平均权重法)	奖金变动率(%) (平均权重法)	总额 (熵权法)	奖金变动率 (%) (熵权法)
平均值	2165.8	0.05	2165.8	0.08
方差	174669.5	80.9	172832.9	81.8
标准差	417.9	8.9	415.7	9.0
极差	3505.8	34	3505.8	34

同时绘制出对应的直方图：

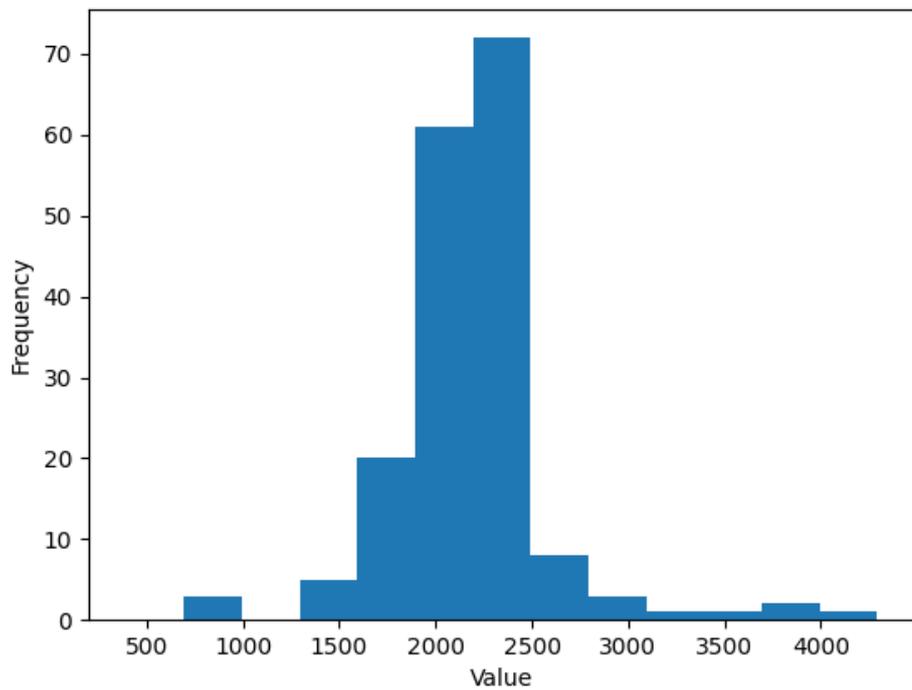


图 8 熵权法辅助分配对应的奖金频数直方图

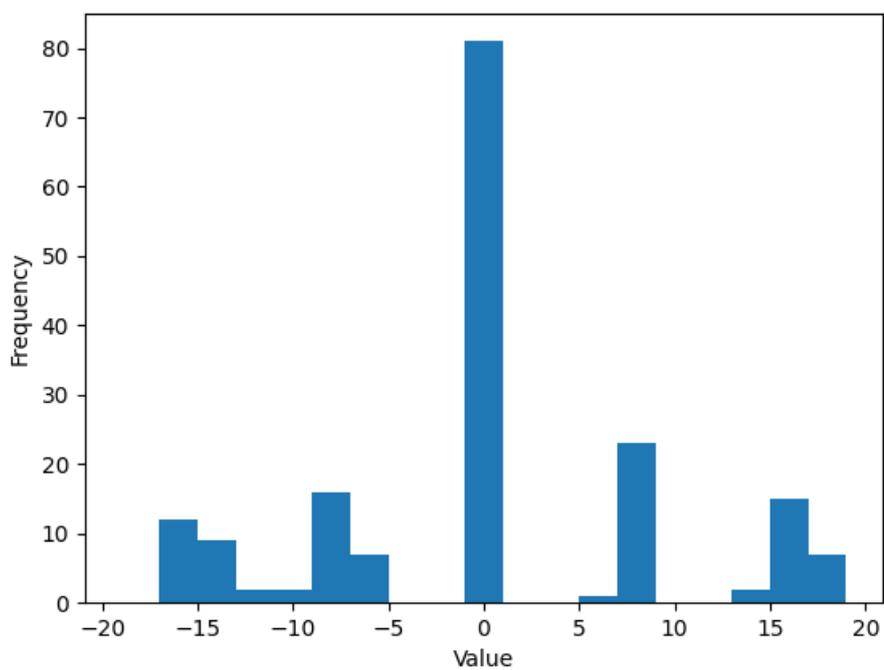


图 9 熵权法辅助分配对应奖金变动率频数直方图

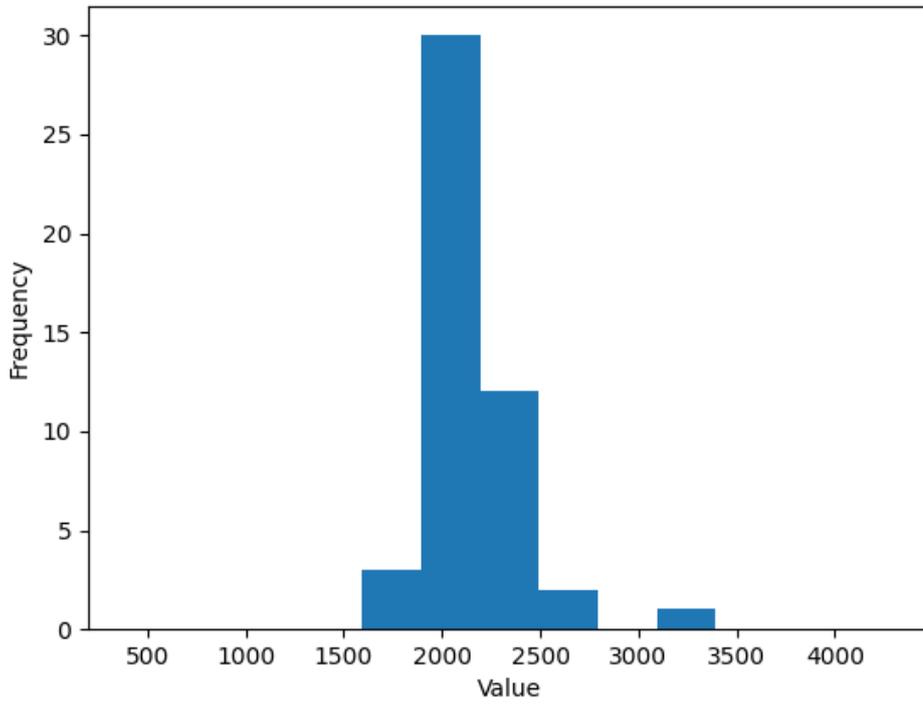


图 10 熵权法辅助分配下奖金下跌人群对应的奖金频数直方图

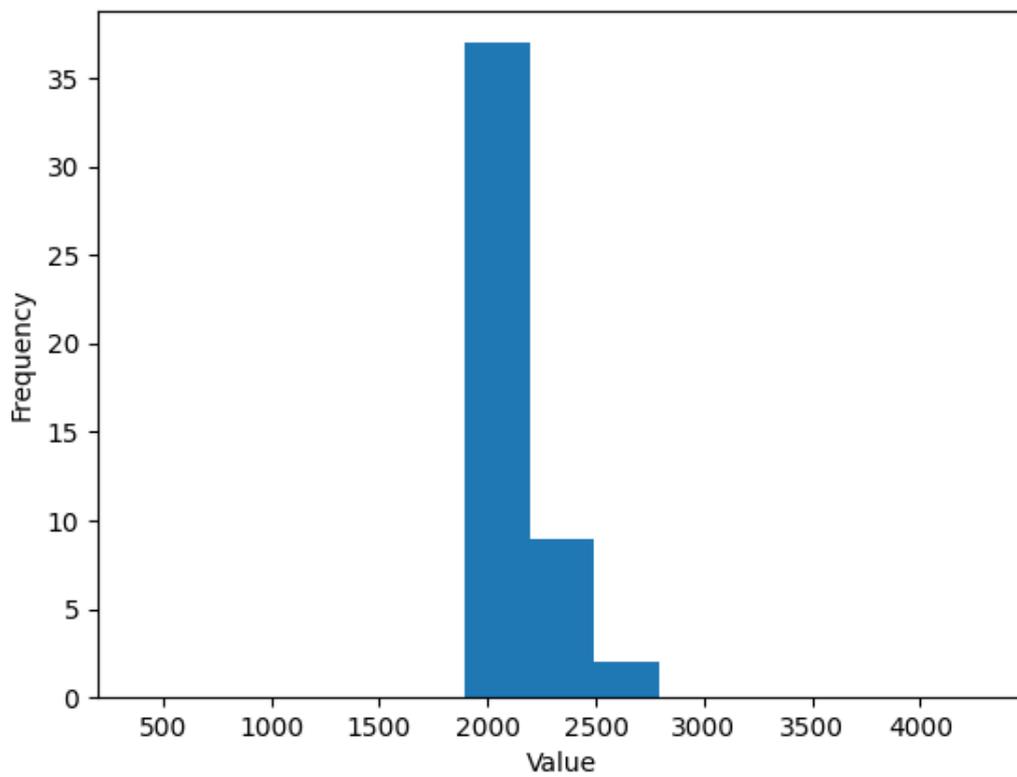


图 11 熵权法辅助下奖金上浮人群对应的奖金频数直方图

对比发现，应用熵权法后，承受超过 10%奖金变动率的人数有稍微减少，同时，可能使更多的较低工资职工享受奖金上浮，使更少的较高工资职工承受奖金下跌。

5.3.2 哑铃型二次分配档次设计

我们认为，10%的奖金下跌带来的负面情绪要比 10%奖金浮动带来的正面情绪强得多，为了使总体的负面效应尽可能小，我们尝试通过修改二次分配结构来控制尽量少的人承受过多的奖金下跌。

以上，我们将 A 档和 E 档的覆盖范围改为 10%，B 档和 D 档的覆盖范围改为 30%，形成了以下图示的二次分配档次结构（接续上节，沿用了熵权法）：

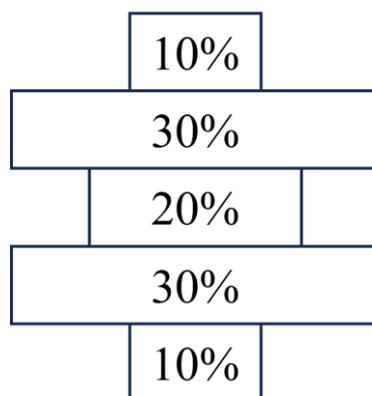


图 12 哑铃型分配结构示意图

按照新的分配结构计算奖金总额的统计量如下表所示：

表 11 新分配结构下奖金统计量对比

统计量	总额 (平均重法)	奖金变动率(%) (平均权重法)	总额 (哑铃型)	奖金变动率(%) (哑铃型)
平均值	2165.8	0.05	2165.8	0.03
方差	174669.5	80.9	163906.2	54.4
标准差	417.9	8.9	404.8	7.3
极差	3505.8	34	3505.8	34

同时给出该方法下的奖金变动率的统计直方图：

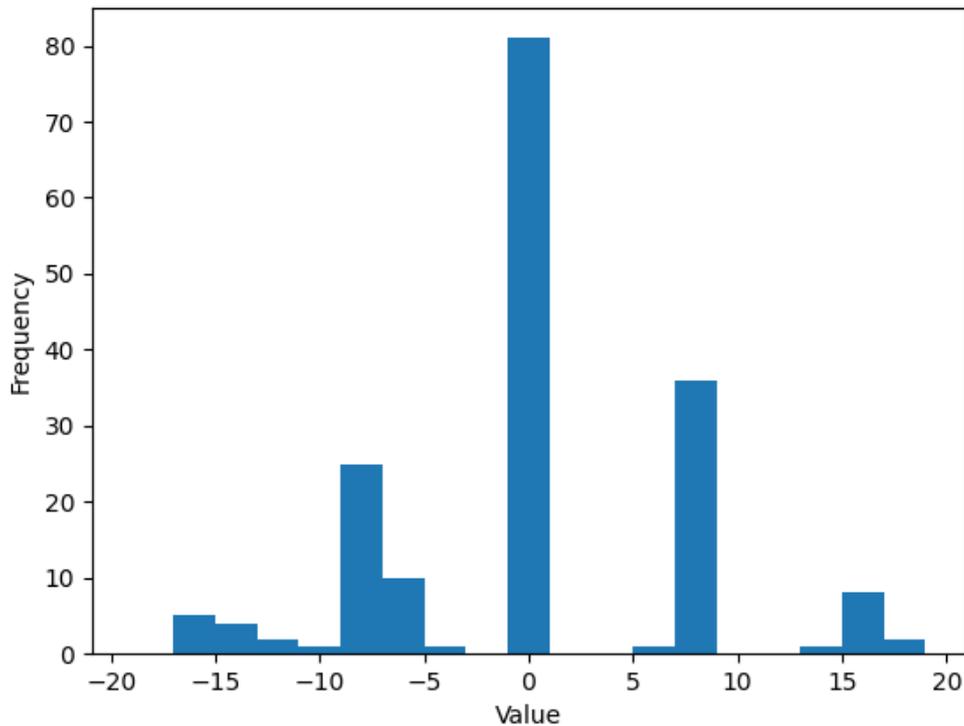


图 13 新分配结构下奖金变动率频数直方图

结合图表，二次分配结构的设计对分配的参数有着显著的影响，采用新的分配结构（结合了熵权法）后，分配的方差有了明显减小，奖金的离散程度得到改善。减轻头尾的方式既可以刺激头部职工争夺更高档位的奖金，也能降低了尾部职工难逃低档次的压力。

5.4 绩效奖金分配建议

本问题中我们使用熵权法以及优化二次分配结构等方法研究了绩效奖金的分配问题，结合各项信息与研究结果，在此给出几点绩效奖金分配建议：

- (1) 二次分配中的积分排名涉及的指标过少，除了寻找其他可能用于评估的指标外，还可以将大指标细分成多个小指标，实现多因素评估。
- (2) 积分制量化值得保留，但需要重视各项指标的重要程度不同，确定指标后应在日常中注意收集，积累充足的数据量，进而客观地评估各项指标的权重。
- (3) 二次分配制度需要进一步细化改进。一个好的结构既能激励头部员工竞争更高奖励，又能减少尾部员工的负面情绪，整体上均衡奖金分布，提高整体的激励效果。

6 问题三分析与定量研究

我们认为，旅检大队应该始终把保证安全、最小化安全风险放在第一位，这之后才是考虑管理能效以及资源分配。对于安全风险，我们理解为安全检查过程中能否准确识别并阻止危险源带入飞机的能力。对于资源分配，我们理解为合理对人力、财力

等资源的分配的能力。对于管理能效，我们理解为均衡资源分配，能利用有限资源高效控制安全风险的能力。安全风险方面在问题一中做了一定探讨，而针对员工的财力分配问题在问题二中也做了相当的研究。我们需要进一步研究该旅检大队面临的安检人力资源问题。

6.1 旅检人力资源压力统计分析

根据题目提供的数据，能够最显著地反映人力资源压力的应该是过检率，过检率是指高峰期某固定时长内过检人数，不仅能反映工作能力，也是压力的体现，较高的过检率可能导致精神紧绷，还可能影响安检的质量，导致漏检、错检等情况。这里我们对“1-6月过检率”表格进行相关统计分析，寻找可能存在的人力资源问题。

表 12 过检率日均统计量

统计量	1月	2月	3月	4月	5月	6月
日均总过检率	1897.7	1879.6	1861.3	2147.4	2289.7	2264.1
日均过检率	121.0	123.5	126.2	142.5	151.6	144.6
日均小组数	15.6	15.2	14.7	15.1	15.1	15.7

我们统计了 1-6 月份的日总过检率、日均过检率以及日工作小组数如下图所示，同时统计了每月的日均总过检率、日均过检率、日均工作小组数如表所示，根据表格以及折线图的信息，从中总结出以下信息：

随月份发展，该旅检大队的日均过检率和日均总过检率呈现波动攀升的趋势，侧面反映了该地可能在 6 月左右迎来了交通旺季

该旅检大队近半年来几乎一直保持日工作小组数在 14-16 的水平，表明管理制度可能长期没有优化。

4、5、6 月份的日均总过检率相比于 1、2、3 月份有了明显提高，然而对应的，由于大队并没有加派额外工作小组参与旅检，导致日均过检率也有所提高。对绩效而言这可能是件好事，但长期较高压下工作会诱发一系列连带的安全风险。

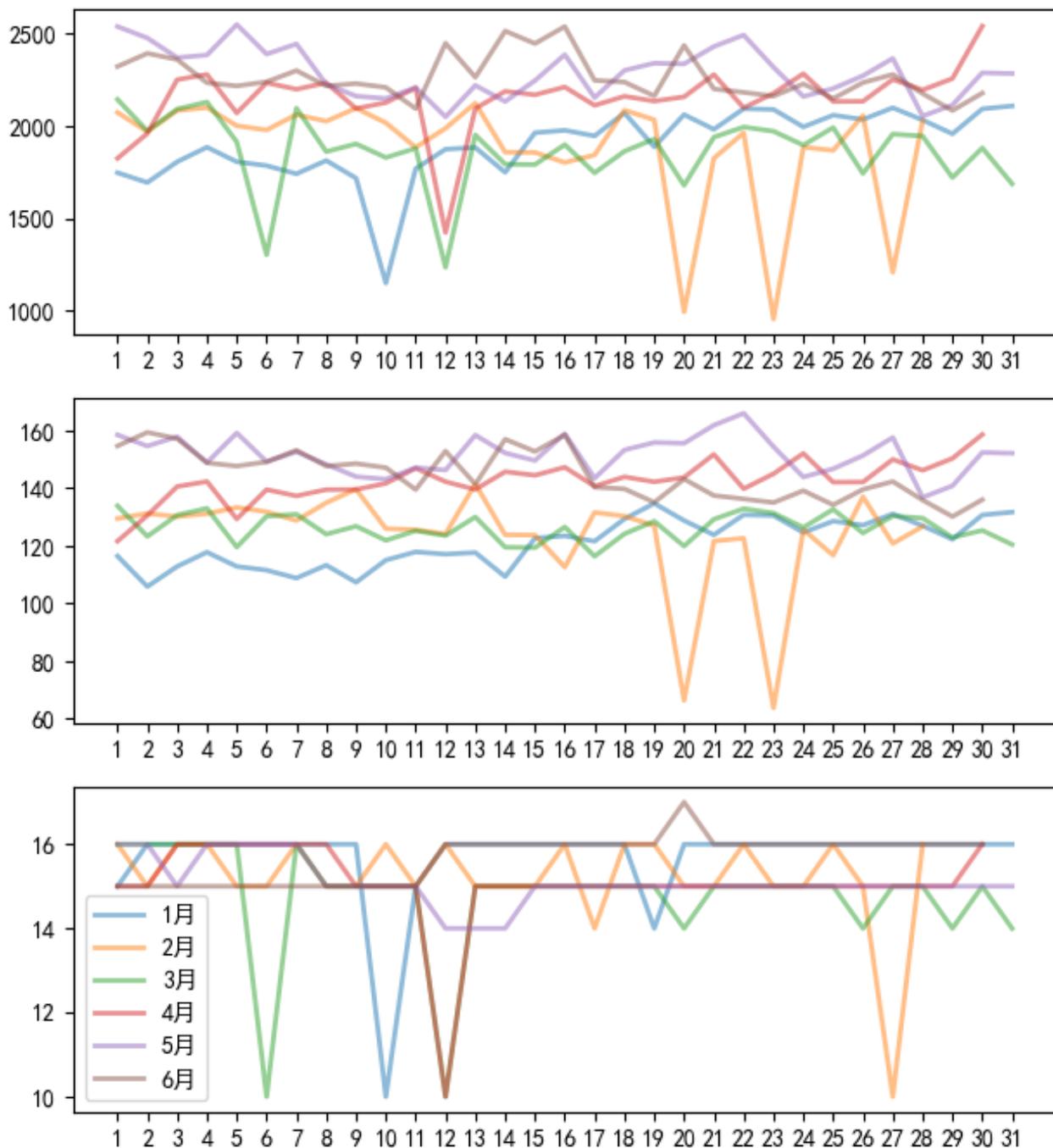


图 14 各月份日均总过检率、日均过检率、日均工作小组数折线图（由上到下）

6.2 多角度问题分析

基于问题一、问题二以及上一节的研究，本节从安全漏洞、管理能效和资源分配三个维度，结合已有量化分析结果，系统梳理该旅检大队当前存在的突出问题。三者相互制约，需在定量分析中有所取舍，整体以提高安全水平为核心目标。

从安全漏洞角度看，从问题一的质控评价模型结果可知，6月份质控综合得分最低为 83.44，虽略低于 4月 83.47，但结合数据预处理中发现的 6月存在 244 处错误行，相关关键字段大量缺失，推测质量管理存在明显疏漏，可能掩盖实际风险。进一步从

内部测试数据看，暗测通过率急剧下降：6月份暗测未通过数高达18次，暗测通过率仅为48.57%，远低于4月的75%和5月的85.7%。明测与暗测差异显著：6月明测通过率为81.82%，与暗测结果差距较大，说明员工在有准备情况下表现尚可，但真实工作状态中警觉性和操作规范性明显不足。6月安全风险处于高位。

从管理能效角度看，问题主要体现在数据记录的规范性、质控流程的执行严谨性以及绩效分配制度的科学性上。首先，是数据质量管理不善，在预处理过程和后续的分析过程中发现了数量相当的记录缺失和错误情况，其中6月岗位违规一类就占244条。数据漏填、错填不仅影响评估准确性，反映出日常管理监督不到位、执行流程较松散。其次，是绩效评价机制尚不完善，分配偏离公平的情况偶有发生，表现为职工的量化积分排名评价指标单一、分配制度不够精细。

从资源分配角度看，该大队建立了二次分配绩效奖金制度、整理日常数据化作考核指标，从整体看已具有一定的数据意识，但数据分析的科学方法应用尚不熟练。同时对数据的敏感性不足，管理响应滞后，导致资源分配不及时。

建议在今后的管理中以安全风险为核心，数据为基础，动态调配资源，优化管理流程，构建“监测—评估—反馈—执行”的闭环管理体系，从而实现安全、效能与资源分配的协同提升。

7 问题四分析与模型建立

7.1 数据收集表格优化设计

我们认为一个好的表格应遵循以下原则进行表格设计：

- (1) 结构化：主要体现在数据表格的“列”。把对象的属性维度，通过“列”进行全量管理，拿到数据表格，即便没有内容数据，只有表头就可以掌握数据的结构组成，同时还便于批量处理；
- (2) 精简字段：仅收集与安全质控、绩效评价紧密相关且可准确获取的数据；
- (3) 标准化与分类：对字段格式、选项进行统一规范，减少人工填写误差；
- (4) 数字化与自动化：尽可能通过系统自动记录（如过检人数、值班时间），减少人工录入；
- (5) 简单易理解：降低填写人的填写难度，也有助于降低填写错误率和空缺率。

脆弱性可以被认为是系统对威胁场景的易感程度，或是系统因暴露于外界扰动而产生的敏感和系统自身调整或进行自我改变的能力。目前对于脆弱性要素的研究，“三要素理论”可能是比较广泛研究的一种。“三要素理论”是指脆弱性的三个主要因素，分别为暴露程度、敏感性、适应能力。暴露程度是反映受外界干扰或胁迫程度的参数。主要反应系统受到扰动、威胁的可能性大小。敏感性是指系统遭受到一定程度的扰动作用后，系统发生损伤的难易程度。适应能力可以被描述为系统修改或改变其特性或行为以更好地应对现有或预期的外部压力的能力。

结合表格设计原则和脆弱性理论，我们设计了如下表格评估安检系统的脆弱性（不列出日常性的一些记录性数据，仅设计关键指标）：

表 13 脆弱性评估要素、指标设计表

要素	相关指标	指标指向
暴露程度	高峰时段过检旅客总数	正
	查获违禁品总量	正
	高危违禁品数量	正
敏感性	岗位违规率	正
	设备故障率	正
	内部测试通过率	负
适应能力	培训演练完成率	负
	应急预案启动耗时	正
	事件平均处置恢复时间	正

绩效评估，又称为绩效考核或者绩效评价，是指对员工的工作表现、工作成果进行系统的、全面的、持续的评价过程。为了更全面客观地评价一位员工的工作，我们设计了如下表格：

表 14 绩效评估指标设计表

宏观指标	统计指标
工作量	实际值班时长
	出勤天数
	过检率
工作质量	岗位违规次数
	查获违禁品次数
	内部测试通过数
经验水平	参与培训次数
...	...

7.2 基于 TOPSIS 的安检系统脆弱性评估

TOPSIS 法是一种常用的综合评价方法，能充分利用原始数据的信息，其结果能精确地反映各评价方案之间的差距。基本过程为基于归一化后的原始数据矩阵，采用余

弦法找出有限方案中的最优方案和最劣方案，然后分别计算各评价对象与最优方案和最劣方案间的距离，获得各评价对象与最优方案的相对接近程度，以此作为评价优劣的依据。该方法对数据分布及样本含量没有严格限制，数据计算简单易行。建模步骤如下：

数据标准化。将指标进行归一化处理，构成规范化的矩阵 S ，其元素为 s_{ij} 对于正向指标：

$$s_{ij} = \frac{a_{ij} - a_{minj}}{a_{maxj} - a_{minj}},$$

负向指标：

$$s_{ij} = \frac{a_{maxj} - a_{ij}}{a_{maxj} - a_{minj}}$$

其中， s_{ij} 为标准化后评价对象 i 的第 j 个评价指标值， a_{ij} 为评价对象 i 的第 j 个评价指标原始值； a_{maxj} 、 a_{minj} 分别为第 j 个评价指标的最大值和最小值。

采用熵权法计算权重。

构造规范化矩阵。将 s_{ij} 和各评价指标权重 w_j 相乘，得到加权标准化矩阵，即规范化矩阵 X ， $x_{ij} = w_j \times s_{ij}$ 。

计算最优解和最劣解：

$$\text{最优解：}(x_1^+, x_2^+, \dots, x_m^+)$$

$$\text{最劣解：}(x_1^-, x_2^-, \dots, x_m^-)$$

计算各评价指标与最优及最劣解之间的距离：

$$d_j^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (x_{ij} - x_j^+)^2} \text{ 和 } d_j^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (x_{ij} - x_j^-)^2}$$

确定评价对象与理想解之间的相对贴近度 C_i ，公式如下：

$$C_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, i = 1, 2, 3, \dots, n$$

C_i 越大，表示越接近正理想解，表明该安检系统脆弱性越高。

7.3 绩效奖金分配建模和建议

基于问题二的研究，我们在 7.1 中设计了新的评估指标，不再是仅有过检率和绩效的二元指标，更具公平和客观性。

在假设表格数据已经收集充足的情况下，我们将采用熵权法与层次分析法结合确定各个指标的权重，其中，使用层次分析法对一级指标进行打分，得到权重矩阵。同时，二级指标具有充足的数据，适合采用熵权法确定权重。两层权重组合得到目标权重。

后续的，我们沿用排名分级的二级分配制度，但是考虑将二级分配的档次模型设置成哑铃型结构，或是橄榄型结构，最终得到每个职员的分配档次，完成分配。

我们建议采取熵权法与层次分析法组合的方式确定指标权重，另外，我们认为，相比于权重导致的排名变化导致的分配洗牌，为二次分配模型执行合适的一套参数或许对分配的结果更有利。

8 模型评价与推广

8.1 模型的优点

- (1) 多方法融合，增强评价客观性：综合运用层次分析法、熵权法、TOPSIS 法等多种定量评价方法，既考虑了经验性，又充分利用数据本身的信息（熵权法），提升了评价的科学性与客观性。
- (2) 将绩效奖金分配模型参数化，有利于进一步系统性研究。在绩效分配中提出“哑铃型”二次分配结构，有效改善了分配情况。
- (3) 数据处理完善科学。对异常值的识别和处理准确，为之后的数据分析打下了坚实基础，增强了模型的实用性和可信度。

8.2 模型的不足

- (1) 题目提供的数据繁杂，尚不能全面挖掘其中的价值，存在一些潜在的可利用数据没有得到很好的利用，比如奖惩信息的量化打分等
- (2) 建立的模型之间相对独立，因此在当两个或多个模型同时运行时，模型之间的相互作用可能会使模型失效

8.3 模型的改进

合理的绩效奖金分配向来难以很好的评估，本文将二次分配档次模型参数化，未能细致地研究参数变化对分配造成的影响，可能能成为调节分配的一个有利工具。

8.4 模型的推广

本文建立的绩效分配评估模型对实际分析绩效组成，调节分配有一定参考作用。

参考文献

- [1]余宏.机场安检管理质控模型搭建思路探究——以杭州萧山国际机场安检护卫部的实践为例[J].民航管理,2022,(06):64-68.
- [2]ARCÚRIO M S F, DE ARRUDA F S. Risk management of human factors in airports screening process [J]. Journal of Risk Research, 2023, 26(2): 147-62.
- [3]王珺.XZ 机场安检部门航空安保管理问题研究[D].河南大学,2017.
- [4]陈磊.D 机场安检管理诊断报告[D].大连理工大学, 2019. DOI:10.26991 /d.cnki.gdllu.2019.003927.
- [5]韩迎亚.民航离港系统安全性评估研究[D].中国民航大学,2016.
- [6]SKORUPSKI J, UCHROŃSKI P. A fuzzy model for evaluating airport security screeners' work [J]. Journal of Air Transport Management, 2015, 48: 42-51.
- [7]SKORUPSKI J, UCHROŃSKI P. A fuzzy model for evaluating metal detection equipment at airport security screening checkpoints [J]. International Journal of Critical Infrastructure Protection, 2017, 16: 39-48.
- [8]Yuchen Sun,Keqiang Dong. A Refined Model for Check-In and Security Staff Allocation at Airports Based on an Improved Bayesian Neural Network[J]. IEEE Access,2025,Vol.13: 47230-47243.
- [9]刘玲莉,彭雪妍.基于 TOPSIS 法的机场运行脆弱性评价[J].综合运输,2023,45(05):103-107+188.
- [10]孙维璟.民航中小机场地面综合保障能力评估研究[D].中国民用航空飞行学院,2022.DOI:10.27722/d.cnki.gzgmh.2022.000027.
- [11]荆增强.机场运行安全风险评估方法——以运城盐湖国际机场为例[J].科技和产业,2025,25(11):105-110.

附录

附录 A 数据预处理代码

```
import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

if __name__ == "__main__":
    num = '4' # 4,5,6 可选

    dic_QC = dict() # 质控风险字典
    dic_QC['高风险'], dic_QC['中风险'], dic_QC['低风险'] = '3C3B1A2A3A456789',
    '2C1B2B', '1C'

    april_QC = pd.read_excel(num+'月质控情况汇总表.xlsx',
sheet_name=0).dropna(thresh=5)
    # 优秀/不合格空缺值
    col = 10
    if num == '6':
        col = 8

    QC = april_QC.iloc[1:, :]
    QCC = april_QC.iloc[1:, col].isnull()
    print(QC[QCC == True])
    # 风险评级矛盾值
    april_QC = april_QC.astype(str)
    Q1 = april_QC.iloc[1:, col]
    Q2 = april_QC.iloc[1:, col+2]
    Q3 = april_QC.iloc[1:, col+3]
    Q4 = april_QC.iloc[1:, col+4]
    Q5 = april_QC.iloc[1:, col+5]
    Q6 = april_QC.iloc[1:, col+6]
    for QC_i in Q1.index:
        if Q1[QC_i] == '优秀':
            if ("C" in Q2[QC_i]+Q3[QC_i]+Q5[QC_i]) or ("B" in
Q2[QC_i]+Q3[QC_i]+Q5[QC_i]) or ('A' in Q2[QC_i]+Q3[QC_i]+Q5[QC_i]) or \
                (Q4[QC_i].isdigit()) or ('风险' in Q6[QC_i]):
                print('优秀矛盾行', april_QC.iloc[QC_i, 0])
        if Q1[QC_i] == '不合格':
            if not (("C" in Q2[QC_i]+Q3[QC_i]+Q5[QC_i]) or ("B" in
```

```

Q2[QC_i]+Q3[QC_i]+Q5[QC_i]) or ('A' in Q2[QC_i]+Q3[QC_i]+Q5[QC_i])) or \
    not (Q4[QC_i].isdigit()) or ('风险' not in Q6[QC_i]):
    print('不合格矛盾行', april_QC.iloc[QC_i, 0])
else:
    if Q3[QC_i] not in Q5[QC_i] or (Q5[QC_i] not in
dic_QC[Q6[QC_i][0:3]]) or Q4[QC_i] not in dic_QC[Q6[QC_i][0:3]]:
        print('风险矛盾行', april_QC.iloc[QC_i, 0])
#####
# x光机
#####
dic_X, dic_X2 = dict(), dict() # 风险字典
dic_X['高风险'], dic_X['中风险'], dic_X['低风险'] = '3C3B1A2A3A',
'2C1B2B', '1C'
dic_X2['3'], dic_X2['2'], dic_X2['1'] = '6789', '345', '12'
april_X = pd.read_excel(num+'月质控情况汇总表.xlsx',
sheet_name=1).dropna(thresh=15)
print('=====')
# 风险评级矛盾值
april_X = april_X.astype(str)
Q1 = april_X.iloc[1:, 19]
Q2 = april_X.iloc[1:, 20]
Q3 = april_X.iloc[1:, 21]
Q4 = april_X.iloc[1:, 22]
Q5 = april_X.iloc[1:, 23]
if num == '6':
    Q1 = april_X.iloc[1:, 21]
    Q2 = april_X.iloc[1:, 22]
    Q3 = april_X.iloc[1:, 23]
    Q4 = april_X.iloc[1:, 24]
    Q5 = april_X.iloc[1:, 25]

for Xi in Q1.index:
    if '/' in Q1[Xi]+Q2[Xi]+Q3[Xi]+Q4[Xi]+Q5[Xi] or 'nan' in
Q1[Xi]+Q2[Xi]+Q3[Xi]+Q4[Xi]+Q5[Xi]:
        print('空缺行', april_X.loc[Xi][0:1])
    else:
        if 'C' in Q1[Xi]:
            if 'C' not in Q2[Xi] or Q3[Xi] not in dic_X2[Q4[Xi][0]] or
Q4[Xi] not in dic_X[Q5[Xi][0:3]]:
                print('风险矛盾行', april_X.loc[Xi][0:1])
        if 'B' in Q1[Xi]:
            if 'B' not in Q2[Xi] or Q3[Xi] not in dic_X2[Q4[Xi][0]] or
Q4[Xi] not in dic_X[Q5[Xi][0:3]]:

```

```

        print('风险矛盾行', april_X.loc[Xi][0:1])

#####
# 内部测试
#####
april_inner = pd.read_excel(num+'月质控情况汇总表.xlsx',
sheet_name=2).dropna(thresh=5)
# 测试空缺记录
april_inner = april_inner.astype(str)
Q1 = april_inner.iloc[1:, 12]
Q2 = april_inner.iloc[1:, 13]
Q3 = april_inner.iloc[1:, 14]
Q4 = april_inner.iloc[1:, 15]
Q5 = april_inner.iloc[1:, 16]
print('=====')
for ini in Q1.index:
    if 'nan' in Q1[ini]+Q2[ini]+Q3[ini] or '/' in
Q1[ini]+Q2[ini]+Q3[ini]:
        print('空缺行', april_inner.loc[ini][0:1])
    else:
        if Q1[ini] == '未通过':
            if '/' in Q4[ini]+Q5[ini] or 'nan' in Q4[ini]+Q5[ini]:
                print('空缺行', april_inner.loc[ini][0:1])
            else:
                if not (set(Q4[ini]).issubset(set(Q2[ini])) and
set(Q5[ini]).issubset(set(Q3[ini]))):
                    print('矛盾行', april_inner.loc[ini][0:1])

```

附录 B 问题一代码

Python 代码用于统计和数据处理，层次分析法使用 SPSSPRO 软件快速处理（按照教程可快速实现）

```

import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import wordcloud
import jieba

if __name__ == "__main__":
    num = '6' # 4,5,6 可选

    april_QC = pd.read_excel(num+'月质控情况汇总表 - 改.xlsx',

```

```

sheet_name=0).dropna(thresh=5)
# 优秀/不合格空缺值
col = 10
if num == '6':
    col = 8

# 风险评级矛盾值
april_QC = april_QC.astype(str)
Q1 = april_QC.iloc[1:, col]
Q2 = april_QC.iloc[1:, col+2]
Q3 = april_QC.iloc[1:, col+3]
Q4 = april_QC.iloc[1:, col+4]
Q5 = april_QC.iloc[1:, col+5]
Q6 = april_QC.iloc[1:, col+6]

print('质控次数:', len(Q1), '|', '优秀率:', sum(1 for i in Q1 if i == '优秀')/len(Q1))
t_Q2 = "".join(Q2)
plt.pie([t_Q2.count('C1'), t_Q2.count('C2'), t_Q2.count('C3')], labels=['C1', 'C2', "C3"])

print(['C1', 'C2', "C3"], [t_Q2.count('C1'), t_Q2.count('C2'), t_Q2.count('C3')])

plt.show()
##
set_Q5 = list(set(Q5))
if '/' in set_Q5:
    set_Q5.remove('/')
if 'nan' in set_Q5:
    set_Q5.remove('nan')
t_Q5 = ''.join(Q5)
plt.pie([t_Q5.count(r) for r in set_Q5], labels=set_Q5)
risk = [(a,b) for a,b in zip(set_Q5, [t_Q5.count(r) for r in set_Q5])]
print(risk)
plt.show()

###
text = ''.join(april_QC.iloc[1:, col+1])
nums = [str(s) for s in range(10)]+['-']

for n in nums:
    text = text.replace(n, '')
ls = jieba.lcut(text) # 生成分词列表

```

```

text = ' '.join(ls) # 连接成字符串
stopwords = ["的", "是", "了", "在"] # 去掉不需要显示的词
wc = wordcloud.WordCloud(font_path="msyh.ttc",
                          width=1000,
                          height=700,
                          background_color='white',
                          max_words=20,
                          stopwords=stopwords).generate(text)

# 显示词云
plt.imshow(wc, interpolation='bilinear') # 用plt显示图片
plt.axis("off") # 不显示坐标轴
plt.show() # 显示图片

##### x光机
april_X = pd.read_excel(num + '月质控情况汇总表 - 改.xlsx',
sheet_name=1).dropna(thresh=15)
print('=====')
#
april_X = april_X.astype(str)
Q1 = april_X.iloc[1:, 19]
Q2 = april_X.iloc[1:, 20]
Q3 = april_X.iloc[1:, 21]
Q4 = april_X.iloc[1:, 22]
Q5 = april_X.iloc[1:, 23]
Q7 = april_X.iloc[1:, 17]
Q8 = april_X.iloc[1:, 18]
if num == '6':
    Q1 = april_X.iloc[1:, 21]
    Q2 = april_X.iloc[1:, 22]
    Q3 = april_X.iloc[1:, 23]
    Q4 = april_X.iloc[1:, 24]
    Q5 = april_X.iloc[1:, 25]
    Q7 = april_X.iloc[1:, 19] # 违规
    Q8 = april_X.iloc[1:, 20] # 判图
print('查获次数: ', len(Q7), '违规次数: ', ''.join(Q8).count('/'), '判图能力:
', ''.join(Q7).count('/'))
set_Q4 = list(set(Q4))
if '/' in set_Q4:
    set_Q4.remove('/')
if 'nan' in set_Q4:
    set_Q4.remove('nan')
t_Q4 = ''.join(Q4)

```

```

plt.pie([t_Q4.count(r) for r in set_Q4], labels=set_Q4)
risk = [(a, b) for a, b in zip(set_Q4, [t_Q4.count(r) for r in
set_Q4])]
print(risk)
plt.show()
##
text = ''.join(Q7)
nums = [str(s) for s in range(10)] + ['-']

for n in nums:
    text = text.replace(n, '')
ls = jieba.lcut(text) # 生成分词列表
text = ' '.join(ls) # 连接成字符串
stopwords = ["的", "是", "了", '在'] # 去掉不需要显示的词
wc = wordcloud.WordCloud(font_path="msyh.ttc",
                           width=1000,
                           height=700,
                           background_color='white',
                           max_words=20,
                           stopwords=stopwords).generate(text)

# 显示词云
plt.imshow(wc, interpolation='bilinear') # 用plt显示图片
plt.axis("off") # 不显示坐标轴
plt.show() # 显示图片
##
text = ''.join(Q8)
nums = [str(s) for s in range(10)] + ['-']

for n in nums:
    text = text.replace(n, '')
ls = jieba.lcut(text) # 生成分词列表
text = ' '.join(ls) # 连接成字符串
stopwords = ["的", "是", "了", '在'] # 去掉不需要显示的词
wc = wordcloud.WordCloud(font_path="msyh.ttc",
                           width=1000,
                           height=700,
                           background_color='white',
                           max_words=20,
                           stopwords=stopwords).generate(text)

# 显示词云
plt.imshow(wc, interpolation='bilinear') # 用plt显示图片

```

```

plt.axis("off") # 不显示坐标轴
plt.show() # 显示图片

#### 内测
april_inner = pd.read_excel(num + '月质控情况汇总表 - 改.xlsx',
sheet_name=2).dropna(thresh=5)
# 测试空缺记录
april_inner = april_inner.astype(str)
Q1 = april_inner.iloc[1:, 12]

Q6 = april_inner.iloc[1:, 6]
print('=====')
print('内测次数: ', len(Q1), '明测次数', ''.join(Q6).count('明'), '暗测次数: ',
''.join(Q6).count('暗'))
print('明测未通过: ', sum([1 for a,b in zip(Q6,Q1) if '明' in a and '未'
in b ]))
print('暗测未通过: ', sum([1 for a, b in zip(Q6, Q1) if '暗' in a and '未'
in b]))

```

雷达图

```

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# 用于正常显示中文
plt.rcParams['font.sans-serif'] = 'SimHei'
# 用于正常显示符号
plt.rcParams['axes.unicode_minus'] = False

# 使用 ggplot 的绘图风格，这个类似于美化了，可以通过 plt.style.available 查看可选值，
你会发现其它的风格真的丑。。。
plt.style.use('ggplot')

# 构造数据
values1 = [47.89, 89.82, 100, 78.85, 87.59, 82.27]
values2 = [60.19, 100, 93.75, 100, 100, 100]
values3 = [100, 97.71, 89.06, 61.38, 91.77, 75.18]
feature = ['质控强度', '查获强度', '测试强度', '优秀度', '风险控制能力', '检查能力'
']

# 设置每个数据点的显示位置，在雷达图上用角度表示
angles = np.linspace(0, 2 * np.pi, len(feature), endpoint=False)

```

```

angles = np.concatenate((angles, [angles[0]]))
feature = np.concatenate((feature, [feature[0]]))
# 绘图
fig = plt.figure()
ax = fig.add_subplot(111, polar=True)
lab = ['4月', '5月', '6月']
for v in range(3):
    values = [values1, values2, values3][v]
    # 拼接数据首尾, 使图形中线条封闭
    values = np.concatenate((values, [values[0]]))
    # 设置为极坐标格式

    # 绘制折线图
    ax.plot(angles, values, 'o-', linewidth=2, label=lab[v])
    # 填充颜色
    ax.fill(angles, values, alpha=0.25)

    # 设置图标上的角度划分刻度, 为每个数据点处添加标签
    ax.set_thetagrids(angles * 180 / np.pi, feature)

    # 设置雷达图的范围
    ax.set_ylim(0, 100)
# 添加标题
plt.title('活动前后员工状态表现')
# 添加网格线
ax.grid(True)
plt.legend(loc='best')
plt.show()

```

附录 C 问题二代码

熵权法通过 SPSSPRO 软件计算权重

```

import pandas as pd
import statistics as sts
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

if __name__ == "__main__":

    money = pd.read_excel('1-4月绩效奖金 - 改.xlsx', sheet_name=0)
    money = money.iloc[:-1]

```

```

old, new = money['标准额'], money['最终实发总额']
print('old', sts.mean(old), sts.variance(old), sts.stdev(old),
max(old)-min(old))
bin_edges = np.arange(min([min(old),min(new)])-300,
max([max(old),max(new)])+300, 300)
print(bin_edges)
plt.hist(old, bins=bin_edges)

plt.xlabel('Value')

plt.ylabel('Frequency')

plt.show()

print('new', sts.mean(new), sts.variance(new), sts.stdev(new),
max(new)-min(new))
plt.hist(new, bins=bin_edges)

plt.xlabel('Value')

plt.ylabel('Frequency')

plt.show()

rate = [round((n-o)/o*100) for o, n in zip(old, new)]
print(max(rate), min(rate))
print('rate', sts.mean(rate), sts.variance(rate), sts.stdev(rate),
max(rate) - min(rate))
rate_edges = np.arange(-19, 20, 2)
print(rate_edges)
plt.hist(rate, bins=rate_edges)

plt.xlabel('Value')

plt.ylabel('Frequency')

plt.show()

ron_lil = []
ron_big = []

```

```

for p in range(len(rate)):
    if rate[p] > 0:
        ron_big.append([rate[p],old[p],new[p]])
    if rate[p] < 0:
        ron_lil.append([rate[p],old[p],new[p]])
ron_lil_1 = [k[1] for k in ron_lil]
ron_big_1 = [k[1] for k in ron_big]
print(sts.mean(ron_lil_1))
print(sts.mean(ron_big_1))
plt.hist(ron_lil_1, bins=bin_edges)

plt.xlabel('Value')

plt.ylabel('Frequency')

plt.show()

plt.hist(ron_big_1, bins=bin_edges)

plt.xlabel('Value')

plt.ylabel('Frequency')

plt.show()

```

```

import pandas as pd
import statistics as sts
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

if __name__ == "__main__":

    change1 = pd.read_excel('开机员汇总.xlsx', sheet_name=0)
    name_c1, cha1_money = list(change1['姓名']), list(change1['新分配2']) #
    当计算哑铃型二次分配时改为“新分配2”
    print(cha1_money)

    change2 = pd.read_excel('基础岗位汇总.xlsx', sheet_name=0)
    name_c2, cha2_money = list(change2['姓名']), list(change2['新分配2'])

```

```

money = pd.read_excel('1-4月绩效奖金 - 改.xlsx', sheet_name=0)
money = money.iloc[:-1]
name, old, new = money['姓名'], money['标准额'], money['最终实发总额']
c3 = [[n,o] for n,o in zip(name,old)]
c4 = []
for cc in range(len(c3)):
    if c3[cc][0] in name_c1:
        w1 = c3[cc][1]-646
        w2 = cha1_money[name_c1.index(c3[cc][0])]
        c4.append(w1+w2)
    elif c3[cc][0] in name_c2:
        c4.append(c3[cc][1]-646+cha2_money[name_c2.index(c3[cc][0])])
    else:
        c4.append(new[cc])
new = c4
print('old', sts.mean(old), sts.variance(old), sts.stdev(old),
max(old)-min(old))
bin_edges = np.arange(min([min(old),min(new)])-300,
max([max(old),max(new)])+300, 300)
print(bin_edges)
plt.hist(old, bins=bin_edges)

plt.xlabel('Value')

plt.ylabel('Frequency')

plt.show()

print('new', sts.mean(new), sts.variance(new), sts.stdev(new),
max(new)-min(new))
plt.hist(new, bins=bin_edges)

plt.xlabel('Value')

plt.ylabel('Frequency')

plt.show()

rate = [round((n-o)/o*100) for o, n in zip(old, new)]
print(max(rate), min(rate))

```

```

    print('rate', sts.mean(rate), sts.variance(rate), sts.stdev(rate),
max(rate) - min(rate))
    rate_edges = np.arange(-19, 20, 2)
    print(rate_edges)
    plt.hist(rate, bins=rate_edges)

plt.xlabel('Value')

plt.ylabel('Frequency')

plt.show()

ron_lil = []
ron_big = []
for p in range(len(rate)):
    if rate[p] > 0:
        ron_big.append([rate[p], old[p], new[p]])
    if rate[p] < 0:
        ron_lil.append([rate[p], old[p], new[p]])
ron_lil_1 = [k[1] for k in ron_lil]
ron_big_1 = [k[1] for k in ron_big]
print(sts.mean(ron_lil_1))
print(sts.mean(ron_big_1))
plt.hist(ron_lil_1, bins=bin_edges)

plt.xlabel('Value')

plt.ylabel('Frequency')

plt.show()

plt.hist(ron_big_1, bins=bin_edges)

plt.xlabel('Value')

plt.ylabel('Frequency')

plt.show()

```

附录 D 问题三代码

```

import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt

if __name__ == '__main__':
    total = pd.read_excel('过检率统计.xlsx', sheet_name=0)
    print(total)

    mean = pd.read_excel('过检率统计.xlsx', sheet_name=1)
    t0 = list(total.iloc[0])    #1月
    t1 = list(total.iloc[1])
    t2 = list(total.iloc[2])
    t3 = list(total.iloc[3])
    t4 = list(total.iloc[4])
    t5 = list(total.iloc[5])

    # 用于正常显示中文
    plt.rcParams['font.sans-serif'] = 'SimHei'
    x = total.columns
    plt.subplot(3,1, 1)
    plt.plot(x, t0, alpha=0.5, linewidth=2, label='1月')
    plt.plot(x, t1, alpha=0.5, linewidth=2, label='2月')
    plt.plot(x, t2, alpha=0.5, linewidth=2, label='3月')
    plt.plot(x, t3, alpha=0.5, linewidth=2, label='4月')
    plt.plot(x, t4, alpha=0.5, linewidth=2, label='5月')
    plt.plot(x, t5, alpha=0.5, linewidth=2, label='6月')
    #plt.legend()
    #plt.show()

    m0 = list(mean.iloc[0])    #1月
    m1 = list(mean.iloc[1])
    m2 = list(mean.iloc[2])
    m3 = list(mean.iloc[3])
    m4 = list(mean.iloc[4])
    m5 = list(mean.iloc[5])
    plt.subplot(3, 1, 2)
    plt.plot(x, m0, alpha=0.5, linewidth=2, label='1月')
    plt.plot(x, m1, alpha=0.5, linewidth=2, label='2月')
    plt.plot(x, m2, alpha=0.5, linewidth=2, label='3月')
    plt.plot(x, m3, alpha=0.5, linewidth=2, label='4月')
    plt.plot(x, m4, alpha=0.5, linewidth=2, label='5月')
    plt.plot(x, m5, alpha=0.5, linewidth=2, label='6月')
    #plt.legend()
    #plt.show()

```

```
num0 = [round(a / b) for a, b in zip(t0, m0)]
num1 = [round(a / b) for a, b in zip(t1[0:28], m1[0:28])]
num2 = [round(a / b) for a, b in zip(t2, m2)]
num3 = [round(a / b) for a, b in zip(t3[0:30], m3[0:30])]
num4 = [round(a / b) for a, b in zip(t4, m4)]
num5 = [round(a / b) for a, b in zip(t5[0:30], m5[0:30])]

plt.subplot(3, 1, 3)
plt.plot(x, num0, alpha=0.5, linewidth=2, label='1月')
plt.plot(x[0:28], num1, alpha=0.5, linewidth=2, label='2月')
plt.plot(x, num2, alpha=0.5, linewidth=2, label='3月')
plt.plot(x[0:30], num3, alpha=0.5, linewidth=2, label='4月')
plt.plot(x, num4, alpha=0.5, linewidth=2, label='5月')
plt.plot(x[0:30], num5, alpha=0.5, linewidth=2, label='6月')
plt.legend()
plt.show()
```