

A Study on Postmortem Responsibility Analysis for Large-Scale Flight Delay

Yan Zuo¹, Yueqi Cao², Zhaoning Zhang²

¹Safety Management Department, East China Air Traffic Management Bureau of CAAC, Shanghai

²College of Air Traffic Management, Civil Aviation University of China, Tianjin

Email: 1500703881@qq.com

Received: Jan. 2nd, 2017; accepted: Jan. 20th, 2017; published: Jan. 23rd, 2017

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

In order to adopt appropriate measures to avoid the occurrence of more flight delays, it's helpful to identify the weak links in the process of flights running and determine the main responsible units for flight delays by analyzing postmortem responsibility of large-scale flight delays. Post-mortem analysis indicator is selected by analyzing the process of flights running and a two-layer postmortem analysis indicator system is built by classifying these indicators into different responsibility units. A model of postmortem analysis for flight delays is established to identify the first delay indicator and the subsequent delay indicator according to flight schedules and flight actual operating data and to determine the main responsible unit of flight delays by calculating the responsibility order and time of delay of each indicator with weights, for example, in July 18, 2013 in North China airspace of a large area of flight delays with the A flight data. By using established flight delays post-hoc analysis index system delayed flights, the indicators values are calculated retrospectively. At last, it's confirmed that the major delay responsible unit is weather delay that is realistic with the day of large-scale thunderstorm weather phenomenon.

Keywords

Flight Delay, Postmortem Analysis, Process of Flight Running, Indicator System, Responsible Unit

大面积航班延误的事后分析研究

左 燕¹, 曹悦琪², 张兆宁²

¹中国民用航空华东地区空中交通管理局安全管理部, 上海

²中国民航大学空中交通管理学院, 天津
Email: 1500703881@qq.com

收稿日期: 2017年1月2日; 录用日期: 2017年1月20日; 发布日期: 2017年1月23日

摘要

为有效降低某一空域未来航班延误发生的可能性, 在该空域的一次大面积航班延误结束以后, 找出航班运行过程中的航班延误相关影响因素, 确定航班延误的主要责任主体尤为重要。通过分析航班运行过程选取了航班延误事后分析指标, 建立了航班延误事后分析模型, 依据航班计划表和航班实际运行数据确定延误航班的首次延误指标和后续延误指标, 根据各个指标的延误责任先后和延误时间加权综合确定航班延误的主要责任主体。以2013年7月18日华北地区某空域的大面积航班延误为例, 选取A航班数据采用建立的航班延误事后分析指标体系对延误航班的各项指标取值进行了追溯与计算, 确定主要延误责任主体为天气延误, 与当日的大规模雷雨天气现象相符。

关键词

航班延误, 事后分析, 航班运行过程, 指标体系, 责任主体

1. 引言

目前, 我国民航业正处于飞速发展时期, 为保障我国民航业快速、健康的发展, 必须对日益严重的航班延误现象加以治理。在大面积航班延误结束以后, 对其进行事后责任分析, 分析造成该次大面积航班延误的具体原因, 确定应为此负责的责任主体。有助于找出该地区航班运行过程中的薄弱环节, 有针对性的对此进行改进, 从而降低该地区未来大面积航班延误发生的可能性与影响范围。

根据国际航空法的观点, 航班延误是指综合航班运输各个环节的所有相关情况, 在向一个守信的承运人给定的合理期望的时间内, 未将旅客、行李或者货物按照民航管理当局批准的民航运输飞行班期时刻表、使用指定的航空器、沿规定的航线在指定的起止经停点停靠实施运输飞行服务, 造成完成该项运输所需要的时间超过合理预期的事实状态。由此可知, 航班延误的内涵主要体现在两方面的要素, 一个是时间要素, 一个是事件要素。时间要素是航班延误的时间状态的体现, 是在航空运输过程的各个阶段中航班运行时间与预期时间的差异, 事件要素是对造成延误事实状态的原因分析。

目前, 国内外既有的研究主要集中在航班延误的成因分析与事后统计分析, 对航班延误的事后责任分析则相对较少。1993年, Ahmad I. Z. Jarrah 和 Gang Yu 等人以对航班计划造成的影响最小为目标, 给出了航空公司在遭遇意外情况时的航班延误与航班取消网络决策模型[1], 在成因分析方面, FAA 在1994年推出了综合终端气象系统[2], 该系统集成了来自美国联邦航空局和美国国家气象局的数据, 专注于研究终端区的气象环境, 用以改善终端区的航班容量, 减少航班延误的发生; 1995年, Vasanthakumar N. Bhat 研究了航空公司财务指标对航班延误的影响, 指出航空公司的规模、负债情况等因素都会影响其航班延误率[3]; 2001年, S. S. Allan 和 S. G. Gaddy 等人利用综合终端气象系统分析了纽约机场的航班延误状态[4]。2010年, 鲁悦对航空公司航班计划的质量进行了评价, 提出航班计划的质量对航空公司的航班延误率存在直接影响[5]; 2011年, 张静、徐肖豪等人建立了 n -阶段机场到达容量分布模型, 通过天气类型决策树将历史天气数据转换为每种天气类型的到达容量概率分布, 从而分析了预测天气对机场容量的影响[6]; 此外, 机场、旅客、流量控制和军事活动等也可能导致航班延误的发生[7][8][9]。在延误的事后

统计分析方面, 欧美等航空发达国家从法律法规、组织管理到统计指标和流程各方面都较为完善, 统计指标涵盖了滑行延误、空管起飞延误、航路延误、流控延误、空管着陆等待延误和着陆延误[10]; 而国内的延误事后统计分析还处于发展之中, 存在着统计数据误差较大、数据时效性差和责任归属划分不清等问题[11], 有待进一步完善。

大面积航班延误往往是由多方面原因共同作用导致的, 但根据民航局发布的 2014 版民航航班正常统计办法(征求意见稿) [12], 目前我国在统计航班延误原因时采取的是“一通到底”的原则, 即一架航班执行多段任务, 当出现首次延误并导致后续航段全部延误时, 后续原因均按首次延误的原因填写, 显然这并不十分合理。

本文拟根据我国航班运行保障的特点, 确定航班运行过程, 选取航班延误事后分析指标, 依据造成指标延误的责任主体建立航班延误事后分析指标体系, 追溯各个指标造成的延误时间并确定各指标延误出现的先后顺序, 按责任先后和延误程度加权综合确定航班延误的责任主体。

2. 航班延误事后分析指标体系的建立

航班延误事后分析指标体系是由一系列能描述航班延误产生具体原因的航班延误事后分析指标构成的有机整体。本文通过分析航班运行的具体过程选取事后分析指标, 然后将这些指标根据造成航班延误的责任主体进行分类, 构建 2 级航班延误事后分析指标体系。

2.1. 指标的选取

根据航班的具体运行过程, 可以将航班运行过程划分为地面阶段、起飞阶段、飞行阶段和着陆阶段。在每个阶段当有与航班运行计划不一致的事件发生时都可能导致航班延误的出现, 这些可能导致航班延误的事件包括:

1) 地面阶段: 前站航班晚到、航空公司计划安排不合理、食品供应不及时、飞机清洁不及时、机务地勤工作不能按时完成、飞机未能按时加油、机场设施故障、地面事故、机组准备不利、旅客未能按时登机、签派放行不合理等。

2) 起飞阶段: 拖车不能及时到位、滑行路线错误、保障灯光损坏、放行排序延误、飞机突发故障、旅客意外情况、气象不满足起飞要求等。

3) 飞行阶段: 管制移交不合理、航空情报服务不及时、汇聚飞行高度层的调配、空管间隔的调整、飞行流量控制、军事活动的影响等。

4) 着陆阶段: 目的机场不满足着落标准、空中特情等待、机场设备故障、跑道被占用、停机位紧张等。

对上述可能导致航班延误出现的事件进行归纳分析, 选取航班延误事后分析指标, 并利用运筹学中的网络计划方法[13]对各指标按照航班运行过程进行排列, 得到航班延误事后分析网络计划如图 1。

箭线实线表示可能导致航班延误出现的事件, 通过对航班运行过程的追溯其可能存在一定的延误时间; 虚线不存在延误时间, 仅用以表示事件的前行、后继关系; 节点表示一个事件的开始及下一个事件的结束, 不存在航班延误时间。航班延误网络计划图按照事件的先后顺序及逻辑关系由左至右排列作出, 箭线前方的节点编号要求大于其后方的节点编号。

2.2. 指标体系的建立

对航班运行各阶段的航班延误成因进行归纳总结, 确定一级指标: 机场、航空公司、空管、天气、军事活动和其它突发事件。再将这些指标按造成航班延误的责任主体进行分类, 得 2 级航班延误事后分析指标体系如表 1。

Table 1. The Index System of the flight delays in postmortem analysis
表 1. 航班延误事后分析指标体系

一级指标	二级指标	二级指标延误时间计算公式
R_1 机场延误	u_4 机场设施延误	$D_{i4} = d_{i4} - \max(d_{i1}, d_{i2})$
	u_5 安全检查延误	$D_{i5} = d_{i5} - \max(d_{i1}, d_{i2})$
	u_6 行李分拣延误	$D_{i6} = d_{i6} - d_{i5}$
	u_7 地面服务延误	$D_{i7} = d_{i7} - d_{i5}$
	u_9 除冰延误	$D_{i9} = d_{i9} - d_{i8}$
	u_{16} 部门协调延误	$D_{i16} = d_{i16} - \max(d_{i1}, d_{i2})$
	u_{17} 地面事故延误	$D_{i17} = d_{i17} - \max(d_{i1}, d_{i2})$
R_2 航空公司延误	u_2 公司计划不合理延误	$D_{i2} = d_{i2} = t_{i2} - a_{i2}$
	u_8 机务工程延误	$D_{i8} = d_{i8} - \max(d_{i1}, d_{i2})$
	u_{10} 签派放行延误	$D_{i10} = d_{i10} - \max(d_{i1}, d_{i2})$
	u_{11} 油量保障延误	$D_{i11} = d_{i11} - d_{i10}$
	u_{12} 货物装载延误	$D_{i12} = d_{i12} - d_{i10}$
	u_{13} 空勤人员延误	$D_{i13} = d_{i13} - d_{i10}$
	u_{14} 清洁延误	$D_{i14} = d_{i14} - \max(d_{i1}, d_{i2})$
u_{15} 配餐延误	$D_{i15} = d_{i15} - \max(d_{i1}, d_{i2})$	
R_3 空管延误	u_{21} 流量控制延误	$D_{i21} = d_{i21} - \max(d_{i4}, d_{i6}, d_{i7}, d_{i9}, d_{i11}, d_{i13}, d_{i14}, d_{i15}, d_{i16}, d_{i17}, d_{i18}, d_{i19}, d_{i20})$
	u_{22} 放行排序延误	$D_{i22} = d_{i22} - d_{i21}$
	u_{23} 推出延误	$D_{i23} = d_{i23} - d_{i22}$
	u_{24} 滑行延误	$D_{i24} = d_{i24} - d_{i23}$
	u_{27} 管制移交延误	$D_{i27} = d_{i27} - d_{i24}$
u_{29} 进场着陆延误	$D_{i29} = d_{i29} - d_{i27}$	
R_4 天气延误	u_{25} 气象改航延误	$D_{i25} = d_{i25} - d_{i24}$
	u_{26} 气象性能延误	$D_{i26} = d_{i26} - d_{i24}$
	u_{28} 气象流控延误	$D_{i28} = d_{i28} - \max(d_{i4}, d_{i6}, d_{i7}, d_{i9}, d_{i11}, d_{i13}, d_{i14}, d_{i15}, d_{i16}, d_{i17}, d_{i18}, d_{i19}, d_{i20})$
R_5 军事活动延误	u_{18} 军事活动延误	$D_{i18} = d_{i18} - \max(d_{i1}, d_{i2})$
	u_{19} 敌情警报延误	$D_{i19} = d_{i19} - \max(d_{i1}, d_{i2})$
R_6 其他延误	u_1 前站航班晚到延误	$D_{i1} = d_{i1} = t_{i1} - a_{i1}$
	u_3 公共安全延误	$D_{i3} = d_{i3} - \max(d_{i1}, d_{i2})$
	u_{20} 旅客延误	$D_{i20} = d_{i20} - d_{i12}$

注：表中数学符号的含义见 3.1 节。

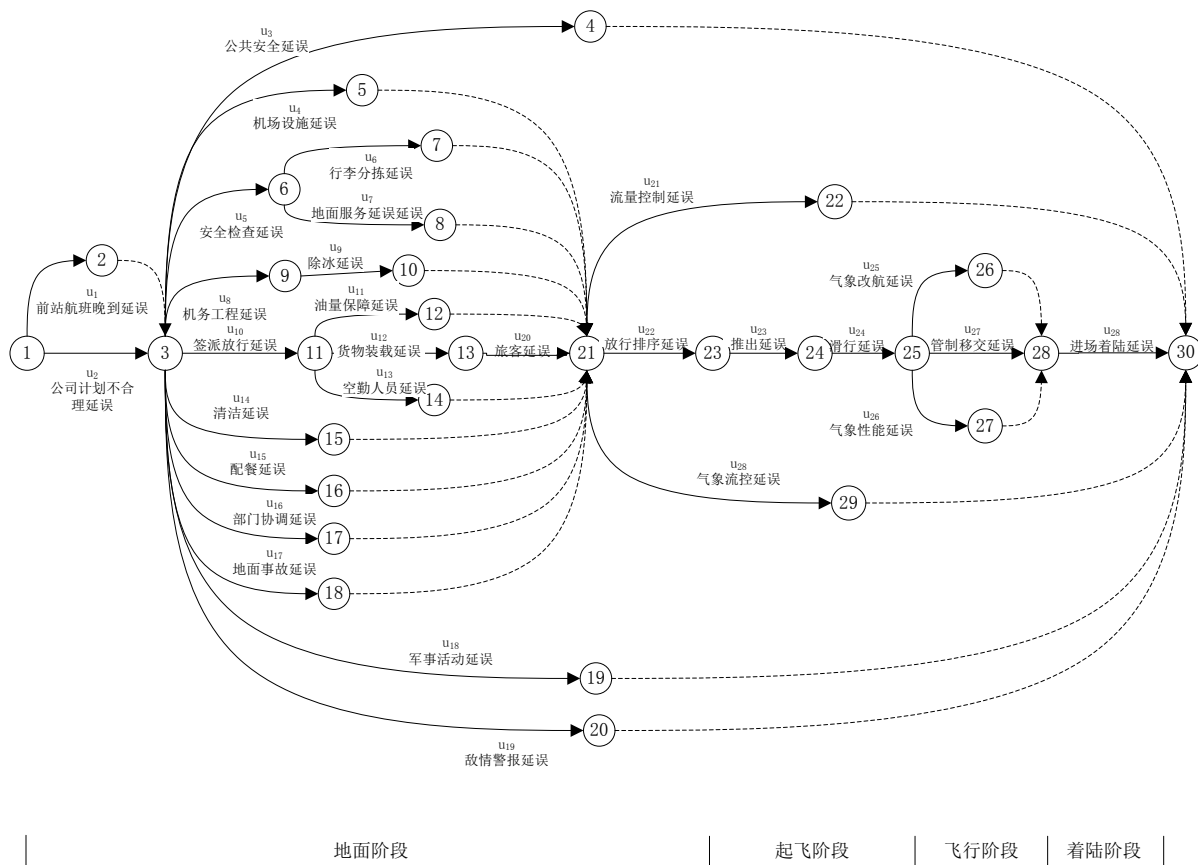


Figure 1. The Net Planning of the flight delays in postmortem analysis
图 1. 航班延误事后分析网络计划

3. 航班延误事后分析模型

由于航班延误是由诸多指标的延误共同导致的，而其中造成航班延误首次出现的指标起着较为突出的作用。本文通过分析航班计划表与航班实际运行数据找出造成航班首次延误的指标，并追溯各指标造成的延误时间，将延误责任先后与延误时间加权计算确定造成该航班延误的主要责任主体，进而分析造成该次大面积航班延误的主要责任主体。

3.1. 模型的构建

根据航班计划表得到航班 $f_i (i=1, 2 \dots M)$ 各个二级指标的计划完成时间 a_{ij} ，根据航班实际运行数据得到航班 f_i 各二级指标的实际完成时间 t_{ij} ，则航班 f_i 在该指标结束时的累积延误时间为 $d_{ij} = t_{ij} - a_{ij}$ ，根据图 1 可得航班 f_i 各二级指标的延误时间计算公式如表 1。

由图 1 分析航班延误首次出现指标为 $u_3, u_{18}, u_{19}, u_{29}$ ，因此得出航班 f_i 的总延误时间为

$$D_{\text{total}} = \max(d_{i3}, d_{i18}, d_{i19}, d_{i29}) \tag{1}$$

对于航班 f_i ，若其在二级指标 $u_j (j=1, 2, \dots, 29)$ 的延误时间 $D_{ij} > 0$ ，称航班 f_i 在二级指标 u_j 出现了延误。按照航班运行过程以及航班实际运行数据确定航班 f_i 在运行过程中延误首次出现的二级指标，称为航班 f_i 的首次延误指标；其他 $D_{ij} > 0$ 的二级指标称为航班 f_i 的后续延误指标。

利用层次分析法确定首次延误指标和后续延误指标的权重 β_{ij} 。

$$\beta_{ij} = \begin{cases} \beta_1 & (u_{ij} \text{ 为首次延误指标}) \\ \beta_2 & (u_{ij} \text{ 为后续延误指标}) \end{cases} \quad (2)$$

将上述权重与各分析指标的延误时间按延误责任主体(即一级指标)加权求和,得各延误责任主体的延误值:

机场延误 R_1 的延误值为

$$Q_{i1} = \beta_{i4}D_{i4} + \beta_{i5}D_{i5} + \beta_{i6}D_{i6} + \beta_{i7}D_{i7} + \beta_{i9}D_{i9} + \beta_{i16}D_{i16} + \beta_{i17}D_{i17} \quad (3)$$

航空公司延误 R_2 的延误值为

$$Q_{i2} = \beta_{i2}D_{i2} + \beta_{i8}D_{i8} + \beta_{i10}D_{i10} + \beta_{i11}D_{i11} + \beta_{i12}D_{i12} + \beta_{i13}D_{i13} + \beta_{i14}D_{i14} + \beta_{i15}D_{i15} \quad (4)$$

空管延误 R_3 的延误值为

$$Q_{i3} = \beta_{i21}D_{i21} + \beta_{i22}D_{i22} + \beta_{i23}D_{i23} + \beta_{i24}D_{i24} + \beta_{i27}D_{i27} + \beta_{i29}D_{i29} \quad (5)$$

天气延误 R_4 的延误值为

$$Q_{i4} = \beta_{i25}D_{i25} + \beta_{i26}D_{i26} + \beta_{i28}D_{i28} \quad (6)$$

军事活动延误 R_5 的延误值为

$$Q_{i5} = \beta_{i18}D_{i18} + \beta_{i19}D_{i19} \quad (7)$$

其他延误 R_6 的延误值为

$$Q_{i6} = \beta_{i1}D_{i1} + \beta_{i3}D_{i3} + \beta_{i20}D_{i20} \quad (8)$$

设 Y_{ik} 表示航班 f_i 第 k 个责任主体的延误比重,对延误值进行归一化处理有:

$$Y_{ik} = \frac{Q_{ik}}{\sum_{n=1}^K Q_{in}} \quad (k=1,2,\dots,6) \quad (9)$$

设 $r \in [1,2,\dots,6]$,比较责任主体的比重,如果 $Y_{ir} = \max[Y_{ik} (k=1,2,\dots,6)]$,则责任主体 R_r 即为造成航班 f_i 延误的主要责任主体。

对于一次大面积航班延误,大多数航班延误的主要责任主体即被认为是造成该次大面积航班延误的主要责任主体。

3.2. 指标权重的确定

利用层次分析法[14]确定指标权重步骤如下:

1) 建立层次结构模型

在深入分析所面临问题的基础上,将其包含的诸多因素按属性的不同自上而下地分解为若干层次,同一层的诸因素从属于上层因素并受下层因素的作用。

2) 构造判断矩阵

从第二层因素开始,邀请所面临问题的业内专家对从属于同一个上层因素的同层次指标进行相对重要性的打分,构造判断矩阵。判断矩阵体现了对于上层某因素,本层与之有关的各因素间的相对重要性。假定上层因素 X_1 与其下层因素 $X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1n}$ 有关,则可构造判断矩阵

$$W_1 = \begin{bmatrix} & X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1n} \\ X_{11} & a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ X_{12} & a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{1n} & a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

上式中, a_{ij} 表示对于上层因素 X_1 , 因素 X_{1i} 对因素 X_{1j} 的相对重要性, 一般采用 1~9 标度法对 a_{ij} 进行赋值。 a_{ij} 赋值 1 表示两同层因素一样重要, 对 a_{ij} 赋值越大, 两同层因素重要性相差越大。

3) 计算特征根和特征向量

利用方根法求解判断矩阵特征向量的步骤如下:

(1) 计算判断矩阵各行元素的积, $M_i = \prod_{j=1}^n a_{ij}$ 。

(2) 计算 M_i 的 n 次方根 $B_i = \sqrt[n]{M_i}$, 并得出新的向量 $B = (B_1, B_2, \dots, B_n)^T$ 。

(3) 对各 B_i 进行归一化处理, 得 $g_i = B_i / \sum_{k=1}^n B_k$, 则特征向量为 $G = (g_1, g_2, \dots, g_n)^T$ 。

(4) 计算判断矩阵与特征向量的乘积, $W_1 \times G = (u_{11}, u_{12}, \dots, u_{1n})^T$ 。

(5) 计算最大特征值, $\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(W_1 \times G)_i}{n \cdot u_{1i}}$ 。

4) 一致性检验

一致性指标为 $CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$, RI 为平均随机一致性指标, 其值与 n 有关, 按表 2 所列值计算, 且满足一致性比例 $CR = (CI) / (RI)$ 。当 $CR < 0.1$ 或者 $\lambda_{\max} = n, CI = 0$ 时, 认为判断矩阵满足一致性检验[15]。

根据层次分析法及行业专家的意见对首次延误指标和后续延误指标做出判断, 确定判断矩阵如下:

$$\begin{array}{cc} & \begin{matrix} w_1 & w_2 \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{首次延误指标} \\ \text{后续延误指标} \end{matrix} & \begin{bmatrix} w_1 & w_2 \\ 1/3 & 1 \end{bmatrix} \end{array}$$

根据方根法, 有 $M_1 = 1 \times 3 = 3$, $M_2 = 1/3 \times 1 = 1/3$, 则 $B_1 = \sqrt{M_1} = 1.732$, $B_2 = \sqrt{M_2} = 0.577$ 。

对各 B 值进行归一化得权值 $\beta_1 = \frac{B_1}{\sum B} = 0.75$, $\beta_2 = \frac{B_2}{\sum B} = 0.25$ 。

经一致性检验, 得 $\lambda_{\max} = 2 = n, CI = 0$, 上述权值是合理的。

4. 实例分析

仍以 2013 年 7 月 18 日华北地区某空域的大面积航班延误为例, 采用建立的航班延误事后分析指标体系对延误航班的各项指标取值进行了追溯与计算, 其中航班 A 的各延误指标取值如表 3 所示。

从延误事件的发生顺序上可知, 行李分拣延误为首次延误指标, 则其他分析指标均为后续延误指标。依据公式(3)至公式(8), 计算可得航班 A 的各延误责任主体造成的航班延误时间如表 4。

根据公式(9)计算可得, $Y_{A1} = 0.23, Y_{A2} = 0.03, Y_{A3} = 0.11, Y_{A4} = 0.63, Y_{A5} = 0, Y_{A6} = 0$ 。

$Y_{A4} = \max[Y_{Ak} (k=1, 2, \dots, 6)]$, 则航班 A 的主要延误责任主体为天气延误, 次要延误责任主体为机场延误和空管延误。

同样, 对此次大面积航班延误的其他 126 个航班进行主要责任主体的计算分析, 计算结果如表 5。

Table 2. The relationship between RI value and the order n of judgement matrix
表 2. RI 值与判断矩阵阶数 n 的关系

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
RI	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49	1.52	1.54

Table 3. The flight delay data of Flight A
表 3. 航班 A 的延误数据

一级指标	二级指标	二级指标延误时间/min
R_1 机场延误	u_4 机场设施延误	0
	u_5 安全检查延误	0
	u_6 行李分拣延误	5
	u_7 地面服务延误	3
	u_9 除冰延误	0
	u_{16} 部门协调延误	0
	u_{17} 地面事故延误	0
R_2 航空公司延误	u_2 公司计划不合理延误	0
	u_8 机务工程延误	2
	u_{10} 签派放行延误	0
	u_{11} 油量保障延误	0
	u_{12} 货物装载延误	0
	u_{13} 空勤人员延误	0
	u_{14} 清洁延误	0
R_3 空管延误	u_{15} 配餐延误	0
	u_{21} 流量控制延误	0
	u_{22} 放行排序延误	7
	u_{23} 推出延误	0
	u_{24} 滑行延误	2
	u_{27} 管制移交延误	0
	u_{29} 进场着陆延误	0
R_4 天气延误	u_{25} 气象改航延误	43
	u_{26} 气象性能延误	6
	u_{28} 气象流控延误	0
R_5 军事活动延误	u_{18} 军事活动延误	0
	u_{19} 敌情警报延误	0
R_6 其他延误	u_1 前站航班晚到延误	0
	u_3 公共安全延误	0
	u_{20} 旅客延误	0

Table 4. Delay values caused by the main responsibility body of the flight A**表 4.** 各延误责任主体造成的航班 A 的延误值

延误责任主体	机场延误	航空公司延误	空管延误	天气延误	军事活动延误	其他延误
延误值	4.5	0.5	2.25	12.25	0	0

Table 5. The responsibility main body distribution of flight delay**表 5.** 航班延误主要延误责任主体分布

主要延误责任主体	机场延误	航空公司延误	空管延误	天气延误	军事活动延误	其他延误
航班数/架次	13	4	21	80	0	9

5. 结论

大面积航班延误现象对我国民航业的发展有着极其恶劣的影响。本文主要针对在大面积航班延误结束以后, 对其进行事后责任分析, 以华北地区某空域的大面积航班延误为例, 运用航班延误事后分析模型确定造成该次大面积航班延误的主要责任主体, 得出结论为: 此次延误主要责任主体为天气延误, 这与当日的大规模雷雨天气现象相符。在此基础上需要进一步细化航班运行过程, 使航班延误事后分析指标体系更加完善, 这是今后研究的重点。

参考文献 (References)

- [1] Jarrah, A.I.Z., Yu, G., Krishnamurthy, N., *et al.* (1993) A Decision Support Framework for Airline Flight Cancellations and Delays. *Transportation Science*, 27, 266-280. <https://doi.org/10.1287/trsc.27.3.266>
- [2] Evans, J.E. and Ducot, E.R. (1994) The Integrated Terminal Weather System (ITWS). *The Lincoln Laboratory Journal*, 7, 449-474.
- [3] Bhat, V.N. (1995) A Multivariate Analysis of Airline Flight Delays. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 12, 54-59. <https://doi.org/10.1108/02656719510080613>
- [4] Allan, S.S., Gaddy, S.G. and Evans, J.E. (2001) Delay Causality and Reduction at the New York City Airports Using Terminal Weather Information Systems. Lincoln Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts.
- [5] 鲁悦. 航空公司航班计划质量评价方法与实证研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京航空航天大学, 2010.
- [6] 张静, 徐肖豪, 王飞. 天气影响的机场容量概率分布[J]. 南京航空航天大学学报, 2011, 43(1): 41-48.
- [7] 董念清. 中国航班延误的现状, 原因及治理路径[J]. 北京航空航天大学学报: 社会科学版, 2013, 26(6): 25-32.
- [8] 袁冬霖. 航班延误的原因分析及对策探讨[J]. 中国民用航空, 2011(2): 40-41.
- [9] 张哲. 关于航班延误的起因与对策[J]. 空运商务, 2006(28): 31-33.
- [10] 赵巍飞, 张亮. 航班延误统计指标体系及延误等级评估研究[J]. 交通运输工程与信息学报, 2009, 7(2): 9-15.
- [11] 高自亮, 张世平. 民航航班正常性数据的统计[J]. 中国民用航空, 2008(4): 48-50.
- [12] 中国民用航空局. 民航航班正常统计办法(征求意见稿)[EB/OL]. <http://www.atmb.net.cn/web/UploadFile/20141222154408653001.pdf>
- [13] 胡运权, 郭耀煌. 运筹学教程[M]. 第3版. 北京: 清华大学出版社, 2007: 273-301.
- [14] 秦吉, 张翼鹏. 现代统计信息分析技术在安全工程方面的应用——层次分析法原理[J]. 工业安全与防尘, 1999(5): 44-48.
- [15] 常建娥, 蒋太立. 层次分析法确定权重的研究[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2007(1): 153-156.

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ojtt@hanspub.org