

# ATC Safety Performance Assessment Model Based on APF

Guangming Yao, Yan Zuo

CAAC East China Regional Administration, Shanghai  
Email: 553143419@qq.com

Received: Aug. 15<sup>th</sup>, 2018; accepted: Aug. 29<sup>th</sup>, 2018; published: Sep. 5<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

ATC safety performance assessment is of great significance for maintaining and continuously improving the safety level of air traffic control system operation. In order to evaluate ATC Safety Performance, this paper establishes an ATC safety performance evaluation model based on the aerospace performance factor, which mainly includes the establishment of the mind map of the safety performance influencing factors and the evaluation of the influencing factors by the AHP. Finally, the model was used to evaluate the safety performance of ATC in 2015 and 2016. Relevant unsafe events that cause safety performance index increase are obtained, to focus on prevention and control in the follow-up work.

## Keywords

ATC Safety Performance, APF, Safety Performance Influencing Factors, AHP

---

## 基于APF的空管安全绩效评估模型

姚光明, 左 燕

民航华东地区空管局安全管理部, 上海  
Email: 553143419@qq.com

收稿日期: 2018年8月15日; 录用日期: 2018年8月29日; 发布日期: 2018年9月5日

---

## 摘 要

空管安全绩效评估对保持和不断提高空管系统运行的安全水平具有重要意义。为评估空管安全绩效, 本文基于航空航天绩效因素(APF)方法, 建立了空管安全绩效评价模型, 主要包括安全绩效影响因素思维导图的建立、层次分析法对影响因素权重的评估。最后, 运用该模型对2015年、2016年空管安全绩效

进行了评估。得出导致2016年空管安全绩效指标增大的相关不安全事件, 以在后续工作中进行重点防控。

## 关键词

空管安全绩效, 航空航天性能因素, 安全绩效影响因素, 层次分析法

Copyright © 2018 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

## 1. 引言

根据芝加哥公约的规定, 各国负有责任确保和维持可接受的安全水平[1]。在国家和组织层面, 国际民航组织制定的标准和建议做法(SARPS)明确指出: 安全绩效评估是一项不间断的活动, 需要持续监测[2]。近年来, 根据航空持续增长, 该任务变得更加关键[2]。空管系统是民航系统的重要组成部分, 其安全水平对整个民航的安全运行有重大影响。因此空管安全绩效评估对保持及提高民航运行安全水平具有重要意义。

目前, 国内外学者已进行了大量民航领域内的安全绩效评估, 肖文娟, 罗帆等结合空管机构运行安全生产运行特点, 以可操作性和实用性为导向, 建立空管机构安全绩效评价体系, 为空管安全绩效评估工作提供了系统的解决思路和方案[3]。曾刚, 陈玉宝等主要采用平衡计分卡的考核原理, 构建基于厦门空管站的平衡计分卡改进模型, 以“安全、服务、综合管理和学习与成长”为考核项, 并构建了四个一级考核指标下的二级考核指标[4]。王永刚采用结构方程模型(SEM)研究了飞行员技术性机能和管理性技能对飞行安全绩效的影响[5], 并运用多层线性模型对飞机快速存取记录器数据和飞行员心理选拔笔试成绩进行分析, 研究了飞行员的空间能力与其安全绩效的关系[6]。Giulio Di Giulio, Riccardo Patriarca 等人讨论了 APF 的发展与应用, 并详细描述了意大利 ANSP 基于 APF 进行的空管安全绩效评估[7]。Yu-Hern Chang, Pei-Chi Shao 等人运用网络分析法及 TOPSIS 方法, 通过两个阶段进行了台湾桃园机场及台北松山国际机场安全管理体系的绩效评估[8]。

目前多数空管安全绩效评估的研究尚不成熟, 如缺乏统一公认的理论基础、研究偏离实际的一线运行, 笔者以 APF(航空航天绩效因素)为理论基础, 研究了空管安全绩效评估模型。

## 2. APF 理论基础

APF (Aerospace Performance Factor, 航空航天绩效因素)是一种利用多种局部安全措施对安全绩效进行测量的方法, 如报告的事件、按专家判断进行加权、并针对系统操作进行标准化等。APF 可对系统绩效进行全面的评估, 为特定的空域、航空公司、机场等提供了综合、全面的安全等级指标[9]。

APF 流程如下:

1) 确定影响绩效的因素。通过召集组织内不同部门(高级管理人员、飞行业务、派遣、培训、维修、飞行人员、安全小组)的专家小组来实现的, 其中还包括视角新鲜、对一个或多个特定信息来源没有偏见的人。

2) 确定关于这些因素的可利用信息。APF 的输入必须来自已经存在了一段时间的数据源, 以便随着时间的推移跟踪性能。

3) 组织影响因素。一旦专家确定了用于 APF 的组织因素作为 APF 的输入, 下一阶段就是将它们组织成类别来开发 APF 思维导图。APF 思维导图是对数据之间关系的图形描述。它突出了层次结构, 并更深入地显示了过程之间的相互依赖关系。

4) 确定各因素的相对重要性或权重。APF 采用层次分析法(AHP)对数据进行加权, 定义每个要素对总体安全绩效的贡献, 该过程涉及第二个专家小组进行指标评价, 对权重事件进行整体评估后, 根据系统运行数量对其进行规范化。

5) 为决策者显示信息。信息以图形的方式显示加权思维导图值及其随时间推移的变化, 以提供一个全面和直观的组织安全绩效。安全指数是报告事件的时间序列, 在全局索引中加权和总结, 以综合的方式表示 ATM 系统的安全性能。

### 3. 空管安全绩效评估模型

#### 3.1. 安全绩效影响因素的确定

##### 1) 确定影响绩效的因素

FAA、EUROCONTROL 等根据 APF 进行绩效评估时将不安全事件作为评价指标, 即影响绩效的组织因素。因此, 在本研究中同样选择与 ATM 相关的不安全事件作为空管安全事件的评价指标, 考虑哪些事件将被报告和评估、搜集不安全事件数据并将其进行分类。如果特定的不安全事件导致另一个不安全事件, 则将这两个事件收集为不同的类型的不安全事件, 以便考虑到实际的整体安全水平。

##### 2) 确定这些因素的可用信息

安全报告是不安全事件搜集的主要来源, 欧洲的报告文化一直改善。为此欧盟第 367/2014 号条例要求各组织报告事件发生的情况。欧洲航行安全组织开发了 ATM 事件调查工具箱(TOKAI), 由几个应用程序组成, 支持完整的报告和调查过程。

2004 年 9 月 16 日, 我国正式启动航空安全自愿报告系统(SCASS), 以进行安全信息的搜集、传播和共享。SCASS 的建立为基于 APF 的空管安全绩效评估提供了基础。

##### 3) 组织安全绩效影响因素

组织安全绩效影响因素的关键在于思维导图的建立。FAA 的案例 APF 将运行差错、运行偏差、飞行员偏差、车辆/行人偏差、跑道入侵、空中几乎碰撞等置于一个层级结构中, 使用思维导图代表了每个因素间的逻辑关系。该种表示的逻辑将地面运行和空中运行分离, 并进一步将空中运行分为航路和终端区运行, 根据事件在系统中的逻辑位置对其分类。在 FAA 之后, 易捷航空也进行了绩效评估, 其对事件的分类侧重于与飞行员运行是否相关、冲突/碰撞等。EUROCONTROL 将不安全事件分为地面事故征候、空中事故征候、空中潜在/接近碰撞、ATM 特殊事件。

综合以上分析, 为进行绩效评估, 结合我国主要发生的不安全事件类型, 建立安全绩效影响因素思维导图, 如图 1 所示。主要将不安全事件分为四大类: 地面不安全事件、空中不安全事件、航空器系统故障、其他事件, 每类事件的具体分类如图 所示。如地面不安全事件主要包括跑道侵入、冲/偏出跑道、航空器在地面与障碍物/航空器/车辆/其它物体等相撞、跑道外接地等不安全事件。

#### 3.2. AHP 安全绩效影响因素权重分析

APF 在一定程度上运用层次分析法(AHP)来建立权重。专家小组在整个系统状态中对每个数据元素的相对重要性或影响程度进行排序。即比较这两个因素, 哪一个对整个系统来说是更大的风险。

基于图 1 进行层次分析法的分析, 图 1 中的“安全绩效影响因素”为目标层, “地面不安全事件”“空中不安全事件”“航空器系统故障”“其他事件”为准则层, 准则层下的事件层为方案层。

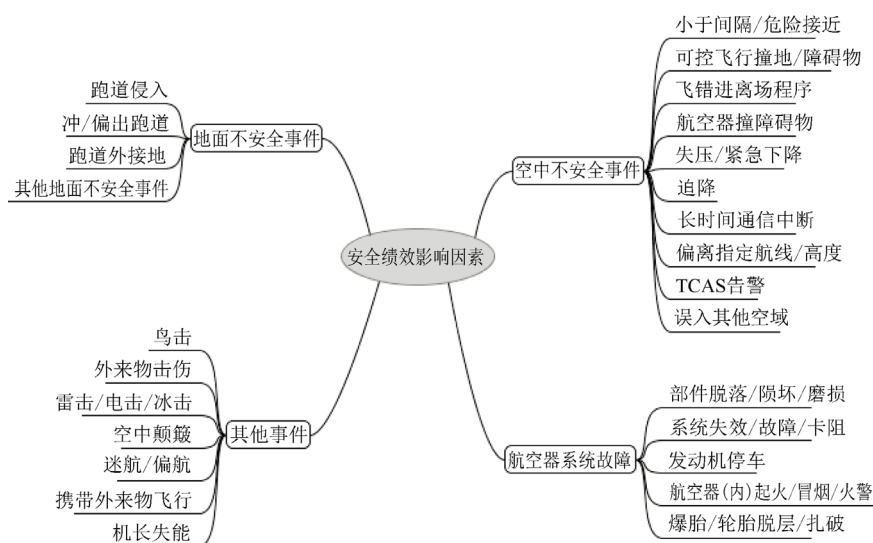


Figure 1. Safety performance influencing factor

图 1. 安全绩效影响因素

## 1) 构造对比判断矩阵

层次分析法通过比较不同的两个元素建立对比判断矩阵, 进而反映各元素相对重要程度。为了定量的表示各元素间的相对重要程度, 运用 1-9 比例标度法加以衡量。

通过专家评估, 目标层判断矩阵如下:

$$A_b = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 3 & 3 \\ 3 & 1 & 5 & 5 \\ 1/3 & 1/5 & 1 & 1 \\ 1/3 & 1/5 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

通过专家评估, 准则层判断矩阵如下:

地面不安全事件判断矩阵:

$$A_{c_1} = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 7 & 9 \\ 1/3 & 1 & 5 & 7 \\ 1/7 & 1/5 & 1 & 3 \\ 1/9 & 1/7 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

空中不安全事件判断矩阵:

$$A_{c_2} = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 5 & 1/7 & 1/3 & 1/5 & 1 & 3 & 1/3 & 1 \\ 5 & 1 & 7 & 1/3 & 3 & 1 & 5 & 7 & 3 & 5 \\ 1/5 & 1/7 & 1 & 1/9 & 1/5 & 1/7 & 1/5 & 1 & 1/5 & 1/5 \\ 7 & 3 & 9 & 1 & 5 & 3 & 5 & 7 & 5 & 5 \\ 3 & 1/3 & 5 & 1/5 & 1 & 1/3 & 5 & 7 & 3 & 3 \\ 5 & 1 & 7 & 1/3 & 3 & 1 & 5 & 7 & 3 & 5 \\ 1 & 1/5 & 5 & 1/5 & 1/5 & 1/5 & 1 & 3 & 1/5 & 1/3 \\ 1/3 & 1/7 & 1 & 1/7 & 1/7 & 1/7 & 1/3 & 1 & 1/5 & 1/3 \\ 3 & 1/3 & 5 & 1/5 & 1/3 & 1/3 & 5 & 5 & 1 & 5 \\ 1 & 1/5 & 5 & 1/5 & 1/3 & 1/5 & 3 & 3 & 1/5 & 1 \end{bmatrix}$$

航空器系统故障的判断矩阵:

$$A_{C_3} = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/9 & 1/9 & 3 \\ 3 & 1 & 1/7 & 1/7 & 5 \\ 9 & 7 & 1 & 3 & 7 \\ 9 & 7 & 1/3 & 1 & 5 \\ 1/3 & 1/5 & 1/7 & 1/5 & 1 \end{bmatrix}$$

其他事件的判断矩阵:

$$A_{C_4} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 5 & 1/3 & 3 & 1/3 \\ 1 & 1 & 1 & 5 & 1/3 & 3 & 1/3 \\ 1 & 1 & 1 & 5 & 1/3 & 3 & 1/3 \\ 1/5 & 1/5 & 1/5 & 1 & 1/5 & 1/3 & 1/3 \\ 3 & 3 & 3 & 5 & 1 & 5 & 3 \\ 1/3 & 1/3 & 1/3 & 3 & 1/5 & 1 & 1/5 \\ 3 & 3 & 3 & 3 & 1/3 & 5 & 1 \end{bmatrix}$$

## 2) 单一指标相对权重值的计算

此步骤需要解决的是计算准则层指标及不同事件相对权重的问题。计算排序权重的问题可归结为对判断矩阵  $A$  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:

$$AW = \lambda_{\max} W \tag{1}$$

式中, 特征向量  $W = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)$  被看作该层次中  $n$  个要素的优先权重向量。

假设判断矩阵  $A$ :

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

根据判断矩阵计算相对权重:

$A$  的元素按行相乘得到一新向量:

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

将新向量每个分量开  $n$  次方, 得到:

$$M_i = \sqrt[n]{A_i} \tag{3}$$

将所得向量归一化即为权重向量:

$$W_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^n M_i}, \quad i = 1, 2, \dots, n \tag{4}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{w_i} \tag{5}$$

最终得到  $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ 。

## 3) 一致性检验

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (6)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (7)$$

其中,  $CI$  为一致性指标,  $RI$  为平均随机一致性指标,  $CR$  为平均随机一致性指标。当  $CR < 0.1$  时, 判断矩阵具有令人满意的一致性。

一般情况下, 若  $CI \leq 0.1$ , 则认为判断矩阵具有一致性, 计算的值是可以接受的。

据此, 计算结果如下:

$$W_b = [0.2495 \quad 0.5596 \quad 0.0955 \quad 0.0933], \lambda_{\max} = 4.0435, CR = 0.0161$$

$$W_{c_1} = [0.5831 \quad 0.2895 \quad 0.0849 \quad 0.0425], \lambda_{\max} = 4.1646, CR = 0.0610$$

$$W_{c_2} = [0.0396 \quad 0.1720 \quad 0.0164 \quad 0.2988 \quad 0.1092 \quad 0.1720 \quad 0.0359 \quad 0.0182 \quad 0.0912 \quad 0.0466],$$

$$\lambda_{\max} = 11.0370, CR = 0.0773$$

$$W_{c_3} = [0.0485 \quad 0.0935 \quad 0.5002 \quad 0.3245 \quad 0.0332], \lambda_{\max} = 5.5922, CR = 0.0870$$

$$W_{c_4} = [0.1155 \quad 0.1155 \quad 0.1155 \quad 0.0355 \quad 0.3338 \quad 0.0515 \quad 0.2327], \lambda_{\max} = 7.5082, CR = 0.0642$$

计算方案层事件相对于目标层的组合权重, 如图 2 所示。

## 3.3. 安全绩效评估

以上根据 APF 组织了系统安全要素, 并通过 AHP 过程获得要素权重。根据 APF [9]方法, 公式(8)为安全绩效价值, 公式(9)为权重事件和(WEO),  $w_n$  为不同事件类型的权重,  $n_n$  为不同事件类型的数量。本研究取年飞行小时数表示整个民航系统的产出。因此, APF 通过公式(10)进行计算。

$$APF = \frac{\text{权重事件和}}{\text{组织产出量}} \quad (8)$$

$$WEO = w_1 * n_1 + w_2 * n_2 + \dots + w_n * n_n \quad (9)$$

$$APF = \frac{w_1 * n_1 + w_2 * n_2 + \dots + w_n * n_n}{\text{年飞行小时数}} \quad (10)$$

## 4. 实例分析

据统计, 2015 年、2016 年的不安全事件统计结果如表 1 所示。

2015 年全国飞行小时数为 851.6 万小时[10], 2016 年全国飞行小时数为 949.4 万小时[11]。分别评估 2015 年及 2016 年空管安全绩效, 2015 年的 APF 为 0.0768, 2016 年的 APF 为 0.0108。

$$APF_{2015} = \frac{w_1 * n_1 + w_2 * n_2 + \dots + w_n * n_n}{\text{年飞行小时数}} = 0.0768$$

$$APF_{2016} = \frac{w_1 * n_1 + w_2 * n_2 + \dots + w_n * n_n}{\text{年飞行小时数}} = 0.0108$$

2016APF 值较 2015 年有所增长, 图 3 为不安全事件的权重事件和, 橙色为 2016 年不安全事件的权重事件和, 蓝色为 2015 年不安全事件的权重事件和。由图可以看出 2016 年 APF 值的增加主要由于跑道侵入、航空器撞障碍物、发动机停车、鸟击、外来物击伤、雷击/电击/冰击、迷航/偏航等的增加导致, 因此应从这几方面进行重点防控。

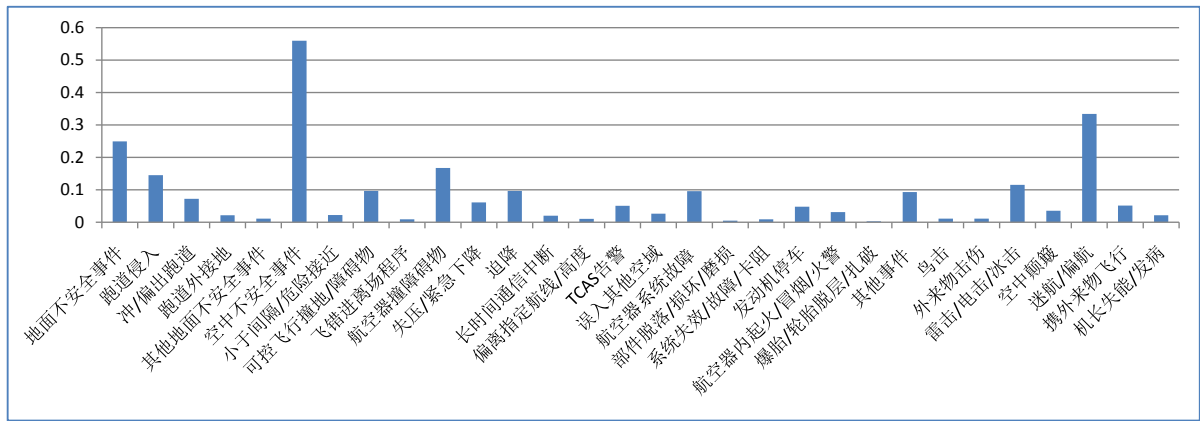


Figure 2. Weight of safety performance influencing factor  
图 2. 安全绩效影响因素权重

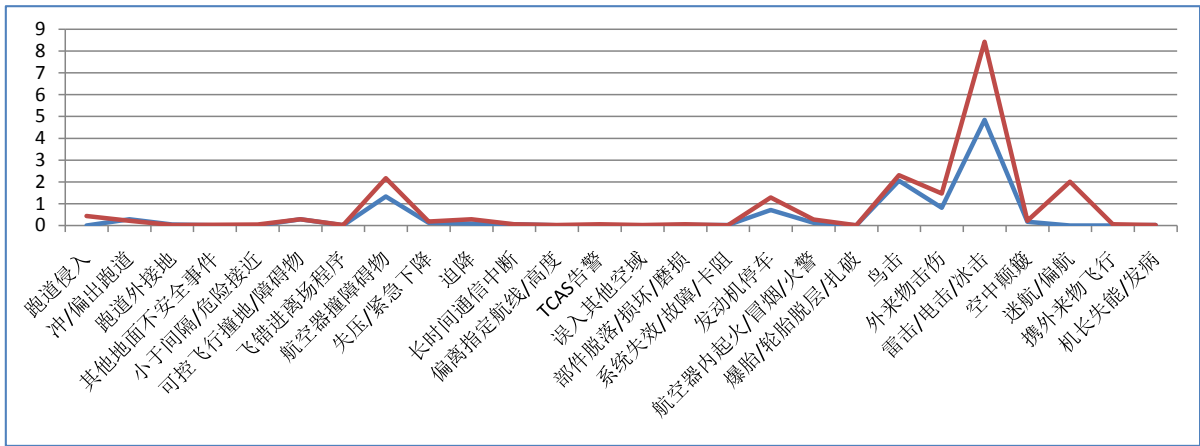


Figure 3. Sum of weighted unsafe events  
图 3. 不安全事件的权重事件和

Table 1. Unsafe events statistics  
表 1. 不安全事件统计

事件类型	2015	2016	事件类型	2015	2016
跑道侵入	0	3	误入其他空域	0	1
冲/偏出跑道	4	3	鸟击	191	214
跑道外接地	2	1	外来物击伤	76	136
其他地面不安全事件	1	3	雷击/电击/冰击	42	73
小于间隔/危险接近	0	2	空中颠簸	5	6
可控飞行撞地/障碍物	3	3	迷航/偏航	0	6
飞错进离场程序	1	2	携外来物飞行	0	1
航空器撞障碍物	8	13	机长失能/发病	1	1
失压/紧急下降	2	3	部件脱落/损坏/磨损	5	11
迫降	1	3	系统失效/故障/卡阻	3	1
长时间通信中断	3	3	发动机停车	15	27
偏离指定航线/高度	1	2	航空器内起火/冒烟/火警	4	9
TCAS告警	0	1	爆胎/轮胎脱层/扎破	5	3

## 5. 结论

本文以航空航天性能因素(APF)方法为理论基础,建立了空管安全绩效影响因素体系,并运用层次分析法评估了各因素的权重,最后以2015年、2016年为例对空管安全绩效进行了评估,并分析了导致2016年该指标增大的因素,以此为基础在后续运行中进行重点防控,基于数据的保密性,本文只采用了2015年及2016年的数据进行实验,在后续实践中,以真实数据进行更广泛的应用,对实际运行中不安全事件的防控有重要意义。

## 参考文献

- [1] ICAO (2009) Doc 9859 AN/474—Safety Management Manual (SMM). Montréal, Canada, 2nd Edition.
- [2] ICAO (2013) Doc 9562. Airport Economics Manual. 3rd Edition, Montréal, Canada.
- [3] 肖文娟. 基层空管机构安全绩效评价体系研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉理工大学, 2009.
- [4] 曾刚. 厦门空管站绩效考核指标体系设计[D]: [硕士学位论文]. 天津: 中国民航大学, 2014.
- [5] 王永刚, 杨传秀, 陈芳. 飞行员安全绩效与飞行技能关系研究[J]. 中国安全科学学报, 2014, 24(3): 126-131.
- [6] 王永刚, 李苗. 飞行员的空间能力与其安全绩效的关系研究[J]. 中国安全科学学报, 2015, 25(8): 141-145.
- [7] Gravio, G.D., Patriarca, R., Mancini, M., *et al.* (2016) Overall Safety Performance of the Air Traffic Management System: The Italian ANSP's Experience on APF. *Research in Transportation Business & Management*, **20**, 3-12. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2016.03.001>
- [8] Chang, Y.H., Shao, P.C. and Chen, H.J. (2015) Performance Evaluation of Airport Safety Management Systems in Taiwan. *Safety Science*, **75**, 72-86. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.12.006>
- [9] Thomas, M.L., Steven, D.S., Antonio, L., *et al.* (2009) The Measurement of System-Wide Safety Performance in Aviation: Three Case Studies in the Development of the Aerospace Performance Factor (APF). [https://www.eurocontrol.int/eec/gallery/content/public/document/other/conference/2009/safety\\_r\\_and\\_d\\_Munich/day1/Tony-Licu-\(EUROCONTROL\)-Steve-Smith-\(FAA\)-Paper.pdf](https://www.eurocontrol.int/eec/gallery/content/public/document/other/conference/2009/safety_r_and_d_Munich/day1/Tony-Licu-(EUROCONTROL)-Steve-Smith-(FAA)-Paper.pdf)
- [10] 2015年民航行业发展统计公报[EB/OL]. [http://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/TJSJ/201605/t20160530\\_37643.html](http://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/TJSJ/201605/t20160530_37643.html), 2016-05-30.
- [11] 2016年民航行业发展统计公报[EB/OL]. [http://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/TJSJ/201705/t20170508\\_44009.html](http://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/TJSJ/201705/t20170508_44009.html), 2017-05-08.

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2330-474X, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>  
期刊邮箱: [jast@hanspub.org](mailto:jast@hanspub.org)