

# 基于QAR超限事件的民航飞行安全风险评价方法

万健<sup>1</sup>, 夏正洪<sup>2</sup>, 王剑辉<sup>2</sup>, 朱新平<sup>2</sup>

1. 中国民航科学技术研究院, 北京 100028

2. 中国民用航空飞行学院空中交通管理学院, 广汉 618307

**摘要** 针对中国民航飞行安全, 提出一种基于快速数据存取记录器(QAR)超限事件的民航飞行安全风险评价方法。根据风险源事件的风险贡献度大小对中国民航飞行安全隐患进行分类, 依据QAR超限事件构建中国民航飞行安全隐患风险评价指标体系, 并结合中国民航飞行品质监控标准的风险阈值, 分别建立了基于离散型超限事件和连续型超限事件的飞行安全风险评价模型。应用该方法以中国民航2017年航班运行实际QAR数据为例, 对2017年飞行安全风险进行计算评价, 结果与2017年中国民航航空安全报告的安全风险分析结论基本一致, 验证了基于QAR超限事件的民航飞行安全风险评价方法的合理性和实用性。

**关键词** 民航飞行安全; 风险评价; QAR超限事件; 风险贡献度

民航是交通运输的重要组成部分, 其风险高度敏感的特点使得公众关注度越来越高。根据《2017年中国民航航空安全报告》<sup>[1]</sup>, 2015、2016年重大以上飞行事故万时率分别为0.0054和0.0058, 而事故征候万架次率分别为0.7078和0.9616; 2017年虽然未发生航空事故, 但运输航空事故征候万时率为0.554, 同比上升0.75%。这说明虽然中国民航航空事故率处于较低水平, 但仍存在飞行安全隐患, 不安全事件时有发生且有持续增长的趋势。根据海恩法则和事故冰山理论, 每1起严重事故的背后, 必然有29次轻微事故、300次事故未遂先兆和1000次事故隐患。可见, 相比事故、事故征候等有确认原因链且能造成严重危害的显性风险事件, 安全隐患事件影响虽小但数量巨大, 如若不能及时

发现并实施有效控制, 由于风险的累积性和动态性, 事故隐患会逐渐演变成事故征候甚至事故, 从而危及民航飞行安全。这也是国际民航组织(ICAO)相关文件要求其缔约国必须开展轻微后果的安全隐患研究的原因。飞行品质监控(FOQA)通过收集、分析日常航线运行中记录的快速数据存取记录器(QAR)数据, 监控飞行机组行为和航空器性能, 有助于发现潜在的飞行安全隐患。因此, 在加强FOQA监控的同时, 进一步开展中国民航飞行安全风险评价研究工作, 及时发现潜在的飞行安全隐患, 掌握飞行安全隐患发生、演变规律及其严重性等特征, 对中国民航飞行安全管理工作的安全关口前移具有重要意义。

目前, 中国民航飞行安全风险评价研究主要有4个

收稿日期: 2018-06-05; 修回日期: 2019-02-13

基金项目: 国家自然科学基金与中国民用航空联合项目(U1733105)

作者简介: 万健, 高级工程师, 研究方向为民航运行安全, 电子信箱: wanjian@mail.castc.org.cn; 夏正洪(通信作者), 副教授, 研究方向为民航飞行安全风险评价与控制, 电子信箱: xcj3232@aliyun.com.

引用格式: 万健, 夏正洪, 王剑辉, 等. 基于QAR超限事件的民航飞行安全风险评价方法[J]. 科技导报, 2019, 37(11): 101-108; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2019.11.012

方面:典型不安全事件,如可控飞行撞地<sup>[2]</sup>、重着陆<sup>[3]</sup>、冲偏出跑道等原因剖析、安全风险评价及预测研究;安全评价方法研究,如物元模型分析<sup>[4]</sup>、专家打分分析<sup>[5]</sup>、模糊综合分析<sup>[6]</sup>、神经网络分析<sup>[7]</sup>、灰色层次分析<sup>[8]</sup>等;安全评价指标体系研究<sup>[5-10]</sup>;QAR 超限事件<sup>[9-12]</sup>研究。国外关于民航安全方面的研究集中于评价方法<sup>[13-15]</sup>,常用的方法包括层次分析、灰色理论分析和贝叶斯网络分析等。中国民航飞行安全风险评价,多基于事故、事故征候和不安全事件的事后分析,数据来源于中国民航安全年度报告,评价指标体系基本从人、机、环境、管理4个要素建立,评价方法以定性评价为主、定量评价为辅,这种基于事故、事故征候和不安全事件等显性风险事件的民航飞行安全风险评价,虽然能够一定程度上减少不安全事件的发生,但与国际民航组织要求的安全关口前移还存在较大的差距。为此,本文依据风险源事件的风险贡献度对中国民航飞行安全风险进行分类的基础上,研究一种基于QAR 超限事件的民航飞行安全风险评价方法。

## 1 风险分类

### 1.1 民航飞行安全风险内涵

民航飞行安全风险的内涵可分为安全内涵、风险内涵、安全隐患内涵和风险贡献度内涵。

1) 安全内涵。ICAO《安全管理手册》(Doc 9859)<sup>[16]</sup>对民航飞行安全的定义为:“通过持续的识别和安全管理,将人员伤亡或财产损失的可能性降低,并保持在一个可接受的水平或其下。”因此,民航飞行安全是指参与民航运行的航空器和相关人员处于一种无危险的状态,也指航空器在运行过程中,不出现由于航空器质量和飞行机组操控原因以及其他原因而造成航空器上的人员伤亡和航空器损坏事件。

2) 风险内涵。民航飞行风险是指在一定的时间内,由于系统行为的不确定性给人员带来危害的可能性。ICAO《安全管理手册》(Doc 9859)对民航飞行安全的定义为“对现有危险或情况的后果或结果预测的概率和严重性”。根据风险内涵,民航飞行安全风险可抽象为如图1所示的结构模型。

从图1可见,中国民航飞行安全风险是民航运行的各个风险源在外部环境作用下的累加表现,每项风险源所产生的风险均具有概率和后果的二重性,即

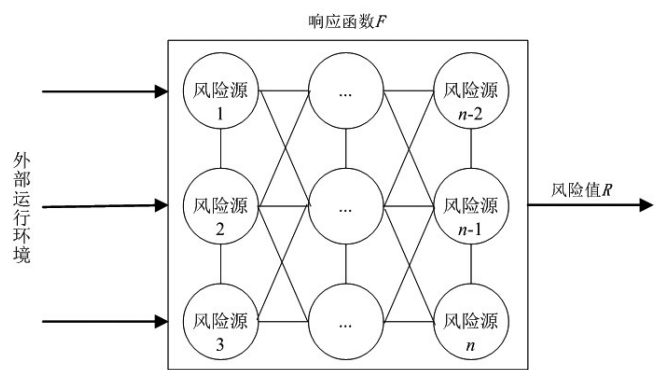


图1 民航飞行安全风险结构模型

Fig. 1 Risk structure model of flight security of civil aviation

$$R=F(p, s, t) \quad (1)$$

式中, $R$ 为民航飞行安全风险的具体表现,即风险值; $F$ 为民航飞行安全风险的响应函数; $p$ 为风险源事件在监测周期( $t$ )内发生的概率,也就是在监测周期内的风险源事件发生次数除以飞行总架次数; $s$ 为风险源事件发生对系统所造成的严重度值,表示风险源事件发生后所造成的后果的严重程度。不同风险源事件所导致的后果严重程度一般是不同的,同一风险源事件由于引发原因不同而造成后果的严重程度也是不同的。因此,通过专家打分法获取风险源事件严重度时,往往需要综合考虑风险源事件的等级及其致因。

3) 安全隐患内涵。根据风险定义及其结构模型可知,风险源既包含民航生产运行中已经暴露、被发现和被记录下来的具有确认原因链的不安全事件(包括事故、事故征候和其他不安全事件),也包含那些未暴露、未发现的风险事件,即安全隐患。民航飞行安全隐患的特点是数量庞大以及模糊性与转换性,这些事件也会影响民航安全,是风险的重要组成部分。根据飞行品质监控项目的定义可知,QAR 数据记录了飞行过程中的重要飞行参数,可作为中国民航飞行安全隐患的重要评价依据。

4) 风险贡献度内涵。假设民航飞行安全隐患事件 $j$ 的发生概率及其严重度值分别为 $p_j$ 和 $s_j$ ,根据公式(1)可求出该安全隐患事件的风险值 $R_j$ ,则该事件风险值与民航飞行安全隐患总风险值之比称为该事件的风险贡献度( $\lambda_j$ ),即

$$\lambda_j = \frac{R_j}{\sum_{j=1}^n R_j} = \frac{p_j s_j}{\sum_{i=1}^n p_i s_i} \quad (2)$$

## 1.2 民航飞行安全风险分类

民航飞行安全风险影响因素多而复杂,各安全隐患事件发生对中国民航飞行安全造成的影响严重程度不尽相同,其中风险值高的安全隐患事件对民航飞行安全的风险贡献度大,在风险控制时要有选择地针对风险贡献度较大的安全隐患事件进行。因此,根据安全隐患事件的风险贡献度大小将安全隐患分为直接安全隐患和间接安全隐患,如图2所示。图2中,直接安全隐患是指风险贡献度 $> \lambda^*$ 的风险,其对应的事件称之为直接安全隐患风险事件,该类风险事件可能是风险概率较高且有一定严重度,也可能是风险事件严重度较大且有一定的风险概率,对民航飞行安全影响程度较大;间接安全隐患是指风险贡献度 $\leq \lambda^*$ 的风险,其对应的事件称之为间接安全隐患风险事件,该类风险事件的风险概率低且对系统风险所造成的危害较小,风险不确定性较为明显; $\lambda^*$ 为风险贡献度阈值, $\lambda^*$ 的确定可根据管理科学中的2/8法进行选取,所谓2/8法是指20%的工作实现80%目标的一种规律现象。

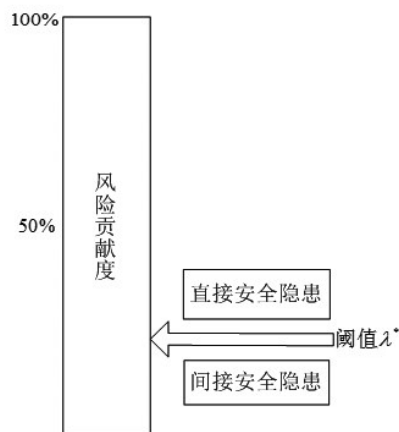


图2 基于风险贡献度的民航飞行安全隐患分类

Fig. 2 Classification of potential flight security of civil aviation based on risk contribution degree

按照以上分类,中国民航飞行安全隐患的总风险值为

$$R=R_0+R_1 \quad (3)$$

式中, $R$ 为安全隐患的总风险值; $R_0$ 为直接安全隐患的风险值之和, $R_1$ 为间接安全隐患的风险值之和。

## 2 风险评价指标体系

风险评价是对系统运行中危险源的识别及其所造

成影响的估计。风险评价通过对系统运行的风险展开定性分析或风险值展开定量计算,并根据相应的风险评判标准,判断该系统运行的风险是否可被接受,以及是否需要采取相应的安全措施。开展安全风险评价的前提是建立民航飞行安全隐患风险评价的指标体系和模型。

按照国际民航组织关于其缔约国风险管制时应该更注意安全关口的前移的要求,中国民航在关注后果更为严重的显性不安全事件的同时,也关注后果较轻却大量存在于民航运行中的安全隐患事件,建立了QAR基站收集航班日常运行的各种飞行安全数据,监控飞行机组行为和航空器性能,并形成中国民航飞行品质监控标准(监控项目风险阈值)。飞行品质监控的本质是通过超限分析,解析QAR数据中超出监控标准风险阈值的超限事件,从而找出安全隐患并且遏制其转换为不安全事件。因此,本文关于中国民航飞行安全隐患的风险评价指标体系是基于QAR超限事件而建立,如图3所示。

分析中国民航飞行安全风险评价指标体系中的飞行品质监控项目可知,首先根据风险贡献度的大小将安全隐患分为直接安全隐患和间接安全隐患,两者的区别仅在于超限事件所造成的后果严重程度不同(即风险源事件的严重度值不同),因此直接安全隐患与间接安全隐患的计算方法是一致的。目前,中国民航安全管理工作采用“抓大放小”原则,集中力量抓运行风险的主要矛盾,因此有必要更关注影响较大的“直接安全隐患”对应的超限事件指标,以实现安全关口的前移。进一步,将安全隐患事件分为仅能定性描述的离散型超限事件指标和能够定量描述的连续型超限事件指标。

## 3 风险评价模型

假设某机型飞行品质监控项目的超限事件指标为 $E$ ,其中离散型超限事件指标为 $E_d$ ,连续型超限事件指标为 $E_c$ ,则

$$E=E_d \cup E_c \quad (4)$$

假设监测周期 $t$ 内航空器起降架次为 $M$ ,超限事件总数为 $N$ ,其中离散型超限事件总数 $N_d$ ,连续型超限事件总数为 $N_c$ ,则

$$N=N_d+N_c \quad (5)$$

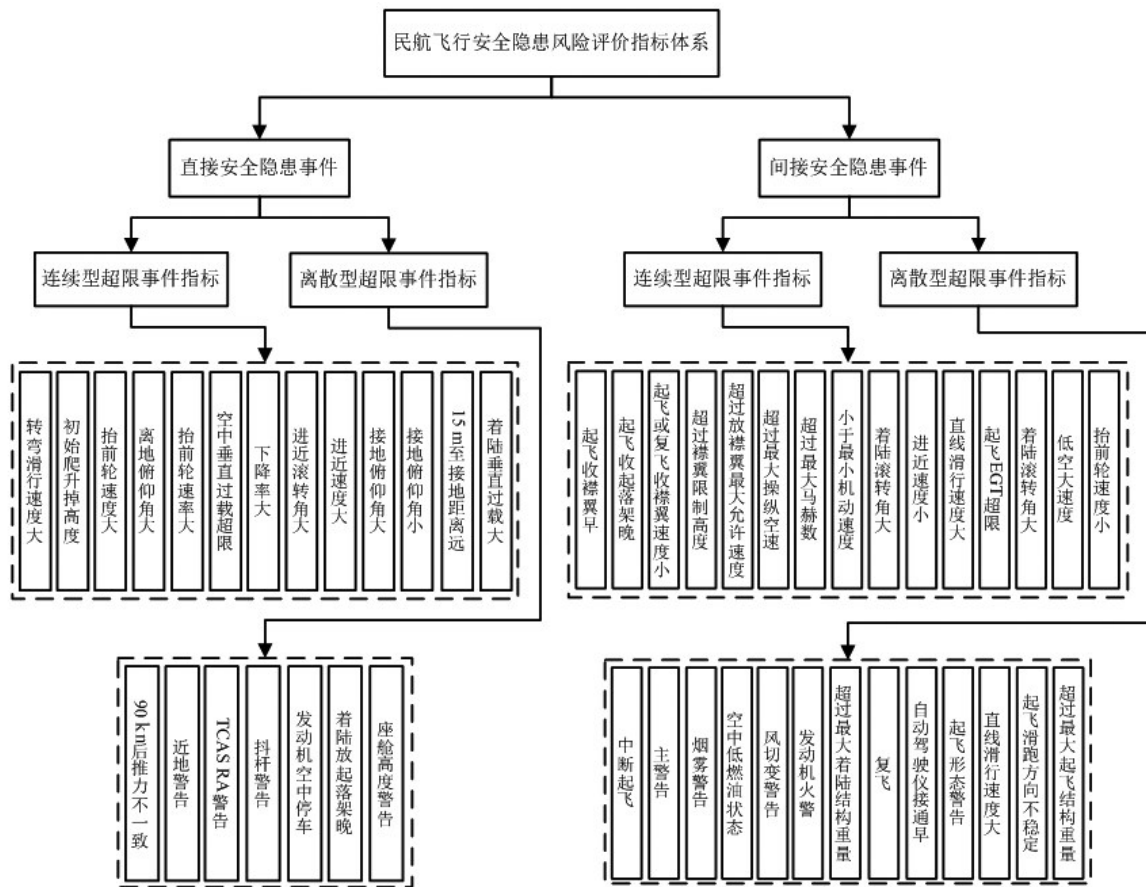


图 3 中国民航飞行安全隐患风险评价指标体系

Fig. 3 Risk assessment index system of the flight security of China civil aviation

3.1 离散型超限事件风险评价模型

假设离散型超限事件分成  $m$  类, 每类事件在监测周期  $t$  内出现的次数为  $N_j$ , 则

$$N_d = \sum_{j=1}^m N_j \quad (6)$$

离散型超限事件  $j$  发生的概率  $p_j$ , 则

$$p_j = \frac{N_j}{M} \quad (7)$$

如果超限事件  $e_j \in E_d$ , 则离散型超限事件的风险  $R(e_j)$  可表示为

$$R(e_j) = \begin{cases} 0 & \text{超限事件 } e_j \text{ 不发生} \\ p_j s_j w_j & \text{超限事件 } e_j \text{ 发生} \end{cases} \quad (8)$$

式中,  $p_j$  为离散型超限事件发生的概率;  $s_j$  为专家为离散型超限事件指标赋予的风险严重度基准值;  $w_j$  为超限事件所处飞行阶段的风险系数。

3.2 连续型超限事件风险评价模型

假设连续型超限事件分成  $n$  类, 每类事件在监测周期  $t$  内的次数为  $N_i$ , 其中监控参数触发蓝色、橙色、红色预警次数记为  $N_{i1}$ 、 $N_{i2}$ 、 $N_{i3}$ , 则

$$N_c = \sum_{i=1}^n N_i = \sum_{i=1}^n (N_{i1} + N_{i2} + N_{i3}) \quad (9)$$

连续型超限事件  $i$  发生的概率  $p_i$  为

$$p_i = \frac{N_i}{M} = \frac{N_{i1} + N_{i2} + N_{i3}}{M} \quad (10)$$

如果超限事件  $e_j \in E_c$ , 则连续型超限事件的风险  $R(e_j)$  可表示为

$$R(e_i) = \frac{N_{i1} + N_{i2} + N_{i3}}{M} s_i \left( 1 + \frac{|v_i - v_0|}{v_0} \right) w_i \quad (11)$$

式中,  $s_i$  是专家为超限事件  $e_i$  赋值的风险严重度基准值, 由专家打分得到, 表 1 给出了民航飞行直接安全隐患严重度基准值专家打分结果;  $v_0$  为超限事件的阈值, 即为

表1 直接安全隐患的严重度基准值

Table 1 Severity standard of direct potential operational security of civil aviation

超限事件名称	严重度基准值	超限事件名称	严重度基准值
接地俯仰角小	0.1	转弯滑行速度大	0.1
15 m至接地距离远	0.1	90节后推力不一致	0.1
着陆垂直过载大	0.3	抬前轮速度大	0.1
TCAS RA 警告	2.0	离地俯仰角大	0.3
抖杆警告	1.8	抬前轮速率大	0.1
发动机空中停车	0.8	初始爬升掉高度	0.1
着陆放起落架晚	0.8	空中垂直过载超限	0.3
座舱高度警告	0.8	近地警告	2.0
进近速度大	0.1	下降率大	0.1
接地俯仰角大	0.3	进近滚转角大	0.1

注:TCAS RA (traffic collision avoidance system resolution advisory)为空中交通防撞系统决断提示。

表2 B737-800飞行品质监控项目及阈值标准

Table 2 Flight operations quality assurance items and threshold standard of B737-800

监控项目	监控参数	蓝色预警	橙色预警	红色预警
转弯滑行速度大	转弯滑行速度/(km·h <sup>-1</sup> )	>55.56	>70.48	—
起飞滚转角大	起飞滚转角/(°)	>5	>6	>18
着陆垂直过载大	接地垂直过载/g	>1.8	>2	>2.2
...	...	...	...	...
下降率大	惯性垂直速度/(m·min <sup>-1</sup> )	>450	>548.64	—
15 m至接地距离远	15 m至接地距离/m	950	1050	—

注:IVV(instantaneous vertical velocity)为惯性垂直速度。

表3 不同飞行阶段的风险系数

Table 3 Risk coefficient of different flight phases

飞行阶段	航段风险系数
滑行	0.11
起飞、初始爬升	0.12
爬升	0.06
巡航	0.12
下降、初始进近	0.10
最后进近、着陆	0.49

## 4 风险评价案例

所用数据来源于中国民航2017年真实的QAR数据。2017年中国民航的起降架次为541.5万架次,通过收集全年航班运行QAR数据,可得飞行品质监控项目超限次数以及实际航班运行数据的平均值,如表4所示。在对QAR数据进行分析处理时,基本遵循了中国

该超限事件的监控标准的最大值,该值是中国民航局参照国际民航组织所制定的关于B737-800机型的监控项目和阈值标准(表2); $v_i$ 为监测周期 $t$ 内参数实际值的平均值。显然,超限事件实际参数平均值 $v_i$ 偏离基准值 $v_0$ 越大,则该连续型超限事件越有可能依次触发蓝色、橙色和红色预警,即参数实际值偏离阈值的大小可反映该事件所造成的影响,因此需要对其风险系数进行相应的修正,偏离基准值越大则该超限事件风险系数越高。 $w_i$ 为超限事件 $e_i$ 所处飞行阶段的风险系数,该系数是波音公司通过统计过去50年所有飞行数据中各飞行阶段所发生事故比例得到,如表3所示。

民航飞行直接安全隐患的风险计算公式为

$$R_D = \sum_{j=1}^m R(e_j) + \sum_{i=1}^n R(e_i) \quad (12)$$

民航局要求的“抓大放小”原则,仅统计超限事件中的橙色超限事件和红色超限事件。因此,表4中超限次数是2017年的橙色和红色超限事件总数;实际数据平均值是2017年所有航班触发了橙色预警及红色预警的所有超限数据的均值;阈值是橙色预警基准值。限于篇幅,本文仅给出飞行直接安全隐患风险评价的基础数据和计算过程。

根据上述分类,指标体系中存在7类离散型事件指标,包括发动机空中停车、抖杆警告、TCAS RA警告、近地警告、着陆起落架晚、90 kn(1 kn=0.277778 m/s)后推力不一致和座舱高度警告;指标体系中存在13种连续型事件指标,包括转弯滑行速度大、抬前轮速度大、离地俯仰角大、抬前轮速率大、初始爬升掉高度、空中垂直过载超限、空中垂直过载超限、下降率大、进近滚转角大、进近速度大、接地俯仰角大、接地俯仰角小和15 m至接地距离远。限于篇幅,本文以近地警告和15 m至接地距离远为例,分别讨论离散型超限事件指标和连续型超

表4 2017年民航飞行直接安全隐患风险评价基础数据

Table 4 Basic data of risk assessment of direct potential operational security of civil aviation in 2017

序号	监控项目	监控参数	超限次数	实际数据平均值	阈值
1	转弯滑行速度大	转弯滑行速度/(km·h <sup>-1</sup> )	2647	85.192	70.48
2	抬前轮速度大	抬前轮速度/(km·h <sup>-1</sup> )	640	288.09	277.8
3	离地俯仰角大	离地俯仰角/(°)	123	13.24	12.3
4	抬前轮速率大	平均俯仰率/(°·s <sup>-1</sup> )	682	10.22	4
5	初始爬升掉高度	—	0	—	—
6	空中垂直过载超限	空中垂直载荷/g	1689	2.24	2.1
7	下降率大	IVV/(m·min <sup>-1</sup> )	564	590	450
8	进近滚转角大	进近滚转角/°	4032	23.87	15
9	进近速度大	进近速度/(km·h <sup>-1</sup> )	3799	167.5	164
10	接地俯仰角大	接地俯仰角/(°)	2	15.7	14.7
11	接地俯仰角小	接地俯仰角/(°)	10374	0.024	0.5
12	15 m至接地距离远	15 m至接地距离/m	972	1110.85	1050
13	着陆垂直过载大	接地垂直载荷/g	50	2.2	2.1
14	近地警告(GPWS)	—	564	—	—
15	TCAS RA 警告	—	92	—	—
16	抖杆警告	—	21	—	—
17	发动机空中停车	—	0	—	—
18	着陆放起落架晚	—	0	—	—
19	90 kn后推力不一致	—	0	—	—
20	座舱高度告警	—	13	—	—

注:GPWS(ground proximity warning system)为地面迫近警告系统。

限事件指标的计算方法。

根据表1、表3和表4,近地警告事件在2017年发生了564次且都发生在最后进近阶段(表4),其航段风险系数为0.49(表3),其风险严重度基准值为2(表1)。则

$$p_{14} = \frac{N_{14}}{M} = \frac{564}{5415000} = 0.001042$$

$$w_{14} = 0.49 \quad s_{14} = 2 \quad R_{14} = p_{14} w_{14} s_{14} = 1.0207$$

15 m至接地距离远事件在2017年发生了972次且发生在最后进近着陆阶段(表4),其航段风险系数为0.49(表3),专家为该事件指标赋予的风险严重度基准值为0.1(表1),而该事件实际数据均值为1110.85 m、阈值为1050 m(表4),因此需要根据实际数据均值偏离阈值对该事件的严重度进行修正。则

$$p_{12} = \frac{N_{12}}{M} = \frac{972}{5415000} = 0.00018$$

$$w_{12} = 0.49 \quad s_{12} = 0.1$$

$$R_{12} = p_{12} w_{12} s_{12} \left( 1 + \frac{|1110.85 - 1050|}{1050} \right) = 0.0931$$

同理,可求出其他离散型超限事件的风险值之和 $R_d$ 以及连续型超限事件的风险值之和 $R_c$ ,可得民航飞行

直接安全隐患风险值 $R_D$ ,即

$$R_D = R_d + R_c = \sum_{i=1}^n R(e_i) = 0.2243 + 3.6350 = 3.8594$$

按照相同的计算方法可求出中国民航飞行间接安全隐患风险值 $R_i$ 和安全隐患风险值 $R$ 。安全隐患风险值所反映的2017年度民航运行安全风险状态,与2017年中国民航航空安全报告的安全风险分析结论基本一致。

## 5 结论

1) 在对中国民航飞行安全中存在的未发现、未暴露的安全隐患风险事件分析的基础上,根据风险贡献度大小将安全隐患分为直接安全隐患和间接安全隐患。通过安全隐患分类可及时发现民航运行中潜在的风险程度更大的飞行安全隐患,对中国民航飞行安全管理工作关口前移具有重要意义。

2) 通过分析中国民航飞行品质监控标准和航班运行QAR数据,根据QAR超限事件建立飞行安全隐患风险评价指标体系,并将超限事件分为连续型超限事件

和离散型超限事件,分别构建基于离散型超限事件和连续型超限事件的风险评价模型,形成一种基于QAR超限事件的民航飞行安全风险评价方法。

3) 以2017年中国民航实际运行QAR数据为例,应用所构建的风险评价模型计算评价该年度的民航飞行安全隐患风险,其结果与该年度中国民航航空安全报告的安全分析结论基本一致,从而验证了基于QAR超限事件的民航飞行安全风险评价方法的合理性和实用性。

4) 后续研究将结合不安全事件和安全隐患事件对民航飞行安全风险进行综合评价和预测。

### 参考文献(References)

- [1] 中国民用航空局航空安全办公室. 2017年中国民航航空安全报告[R/OL]. 北京: 中国民用航空局, 2018. <http://safety.caac.gov.cn/index/download.act?checkSum=2017.pdf>. Aviation Safety Office of China Civil Aviation Administration. China civil aviation safety report 2017[R/OL]. Beijing: Civil Aviation Administration of China, 2018. <http://safety.caac.gov.cn/index/download.act?checkSum=2017.pdf>.
- [2] 杜红兵, 王雪莉. 基于贝叶斯网络的可控飞行撞地事故原因分析方法[J]. 安全与环境学报, 2009, 9(5): 136-139. Du Hongbing, Wang Xueli. Cause analysis of the controlled flight bumping into terrain based on the Bayesian network[J]. Journal of Safety and Environment, 2009, 9(5): 136-139.
- [3] 汪磊, 孙瑞山, 吴昌旭, 等. 基于飞行QAR数据的重着陆风险定量评价模型[J]. 中国安全科学学报, 2014, 24(2): 88-92. Wang Lei, Sun Ruishan, Wu Changxu, et al. A flight QAR data based model for hard landing risk quantitative evaluation [J]. China Safety Science Journal, 2014, 24(2): 88-92.
- [4] 王天明. 基于QAR数据的飞行安全模型研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2008. Wang Tianming. Research of flight safety model based on QAR [D]. Tianjin: Civil Aviation University of China, 2008.
- [5] 唐卫贞. 基于物元模型的航空公司飞行安全风险综合评价[J]. 安全与环境学报, 2015, 15(2): 25-29. Tang Weizhen. Comprehensive evaluation for the airline flight safety risk based on the matter-elements model[J]. Journal of Safety and Environment, 2015, 15(2): 25-29.
- [6] 张思远. 基于QAR数据分析的飞行安全风险预测方法研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2015. Zhang Siyuan. Research on flight operation risk based on quick access recorder data[D]. Tianjin: Civil Aviation University of China, 2015.
- [7] 陈芳, 孙亚腾, 范丹红, 等. 飞行安全技术评价指标体系实证研究[J]. 中国安全科学学报, 2017, 27(9): 146-151. Chen Fang, Sun Yateng, Fan Danhong, et al. Empirical study on evaluation index system of flight safety skill[J]. China Safety Science Journal, 2017, 27(9): 146-151.
- [8] 陈可嘉, 金炼. 航空公司飞行安全灰色区间层次评价[J]. 中国安全科学学报, 2015, 25(8): 146-151. Chen Kejia, Jin Lian. Grey interval hierarchy evaluation of airline flight safety performance[J]. China Safety Science Journal, 2015, 25(8): 146-151.
- [9] 祁明亮, 邵雪焱, 池宏. QAR超限事件飞行操作风险诊断方法[J]. 北京航空航天大学学报, 2011, 37(10): 1207-1210. Qi Mingliang, Shao Xueyan, Chi Hong. Flight operations risk diagnosis method on QAR exceedance[J]. Journal of Beijing university of Aeronautics and Astronautics, 2011, 37(10): 1207-1210.
- [10] 孙瑞山, 杨绎焱, 汪磊. QAR数据在飞行安全评价中的应用[J]. 中国安全科学学报, 2015, 25(7): 87-92. Sun Ruishan, Yang Yixuan, Wang Lei. Study on flight safety evaluation based on QAR data[J]. China Safety Science Journal, 2015, 25(7): 87-92.
- [11] 杨绎焱. 基于QAR数据的航班运行安全风险研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2016. Yang Yixuan. Research on flight operation risk based on quick access recorder data[D]. Tianjin: Civil Aviation University of China, 2016.
- [12] 郑磊, 池宏, 邵雪焱. 基于QAR数据的飞行操作模式及其风险分析[J]. 中国管理科学, 2017, 25(10): 109-118. Zheng Lei, Chi Hong, Shao Xueyan. Pattern recognition and risk analysis for flight operations[J]. Chinese Journal of Management Science, 2017, 25(10): 109-118.
- [13] Tamasi G, Demichela M. Risk assessment techniques for civil aviation security[J]. Reliability Engineering & System Safety, 2011, 96(8): 892-899.
- [14] Sembiring J, Drees L, Holzapfel F. Extracting unmeasured parameters based on quick access recorder data using parameter-estimation method[C/OL]//AIAA Atmospheric Flight Mechanics (AFM) Conference. 2013. [https://www.researchgate.net/publication/268470618\\_Extracting\\_Unmeasured\\_Parameters\\_Based\\_on\\_Quick\\_Access\\_Recorder\\_Data\\_Using\\_Parameter-Estimation\\_Method](https://www.researchgate.net/publication/268470618_Extracting_Unmeasured_Parameters_Based_on_Quick_Access_Recorder_Data_Using_Parameter-Estimation_Method).
- [15] Greenberg R, Cook S C, Harris D. A civil aviation safety assessment model using a Bayesian belief network (BBN) [J]. Aeronautical Journal, 2016, 109(1101): 557-568.
- [16] International Civil Aviation Organization. Safety management manual (DOC9859) [R/OL]. Montreal: International Civil Aviation Organization, 2009. <https://www.afeonline.com/shop/icao-doc-9859.html>.

## Risk assessment method of the flight security of China civil aviation based on QAR over-limit events

WAN Jian<sup>1</sup>, XIA Zhenghong<sup>2</sup>, WANG Jianhui<sup>2</sup>, ZHU Xinping<sup>2</sup>

1. China Academy of Civil Aviation Science and Technology, Beijing 100028, China

2. School of Air Traffic Control, Civil Aviation Flight University of China, Guanghan 618307, China

**Abstract** In order to study the flight risk of civil aviation in China, a risk assessment method of flight security hazard of China civil aviation based on QAR over-limit events is proposed. The potential security hazard of China civil aviation is classified by the risk contribution degrees of risk factors firstly, then a risk assessment index system of potential security risk is constructed on the basis of events which exceed the limits of flight operations quality assurance. Combined with the risk control standards of China civil aviation industry (risk threshold), risk assessment models are established for discrete and continuous over-limit events respectively. By using the actual operational QAR data of Civil Aviation Administration of China (CAAC) in 2017 and the proposed method, a risk assessment of direct security hazard of China civil aviation is carried out, and the results are in agreement with the safety risk analysis conclusion of the Civil Aviation Safety Report of China, thus verifying the rationality of the proposed index system and models.

**Keywords** civil flight security; risk assessment; quick access record over-limit events; risk contribution degree ●



(责任编辑 韩星明)