

基于中国鸟群环境的航空发动机 吸鸟规律研究

张宗锴, 韩方军, 赵凤飞, 沈丽娟, 程 明, 刘 洋

(中国航发沈阳发动机研究所, 沈阳 110015)

摘 要: 民用航空发动机适航取证时需通过吸鸟试验考核, 当前世界广泛使用的航空发动机吸鸟试验适航要求主要来自美国联邦航空管理局、欧洲航空安全局和中国民用航空局的适航规章。其中, 美国的 FAR 33.76 标准主要参考美国联邦航空管理局对多型航空发动机吸鸟事件的分析结果制定, 而中国的《航空发动机适航规定》参考 FAR 33.76 制定, 没有充分反映中国鸟情环境。通过分析中国 10 年间发动机吸鸟事件的地理、质量、时间、发生阶段等分布特征, 以及吸鸟事件造成的航空发动机损伤情况, 与美国研究结果进行了对比, 总结出基于中国鸟群环境下的航空发动机吸鸟规律, 并对吸鸟事件造成的航空发动机不同程度损伤的概率进行了初步评估。所研究的中国鸟群环境下的航空发动机吸鸟规律, 可为我国在研民用航空发动机开展吸鸟试验和吸鸟安全性评估研究提供参考借鉴。

关键词: 航空发动机; 吸鸟事件; 适航; 吸鸟试验; 中国鸟情环境

中图分类号: V232.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-2620(2025)01-0108-07

DOI: 10.3724/j.GTER.20250004

Analysis of bird ingestion events of aero-engine based on China's bird conditions environment

ZHANG Zongkai, HAN Fangjun, ZHAO Fengfei, SHEN Lijuan, CHENG Ming, LIU Yang

(AECC Shenyang Engine Research Institute, Shenyang 110015, China)

Abstract: The airworthiness certification of civil aero-engine requires bird ingestion test assessment. Currently, the widely used bird ingestion test requirements for aero-engine in the world mainly come from the airworthiness regulations of the Federal Aviation Administration of the United States, the European Aviation Safety Agency, and the Civil Aviation Administration of China. The FAR 33.76 is mainly formulated based on the analysis results of the FAA on bird ingestion events of multiple types of aero-engine, while China's CCAR is formulated based on FAR 33.76 so that China's bird conditions environment cannot be reflected sufficiently. By analyzing the geography, weight, time, and stage distribution characteristics of aero-engine bird ingestion events in China for 10 years, as well as the damage caused by bird ingestion events to aero-engines, and comparing with research results from the United States, the bird ingestion patterns of aero-engine based on China's bird environment was summarized and the probability of different degrees of damage to aero-engines caused by bird ingestion events was evaluated. The bird ingestion patterns of aero-engines in China's bird environment can provide a reference for conducting bird ingestion tests and safety assessments for domestic civil aero-engines.

Key words: aero-engine; bird ingestion events; airworthiness; bird ingestion test; China's bird conditions environment

1 引言

在航空发动机适航取证过程中, 需要进行大量

的试验验证。其中, 吸鸟试验作为与安全性紧密相关的验证项目, 自 1956 年第一次出现在《英国民用

适航要求》^[1]中起,就一直在不断发展。当前国际上民用航空发动机吸鸟试验多采用美国联邦航空管理局(FAA)的FAR 33.76条款^[2]和欧洲航空安全局(EASA)的CS-E 800条款^[3],我国民用航空发动机适航取证吸鸟试验采用CCAR-33R2 33.76条款^[4],并且后两者的吸鸟试验参数与FAR 33.76基本相同。

FAA在20世纪80年代到21世纪初集中开展了世界范围内航空发动机吸鸟事件情况研究。HOVEY^[5-6]和BANILOWER^[7]等评估了吸鸟适航规章是否能够保障足够的安全。CHESTER和TERRANCE^[8]研究了1968年12月至1999年12月世界范围内商用飞机发动机的吸鸟事件数据,并利用蒙特卡罗仿真方法对发动机损伤情况进行了分析。DRAGONAS^[9]和DOLBEER^[10-11]在其研究报告中详细记录了美国20多年间野生动物撞击飞机的统计及分析结果,其中包括撞击飞机鸟类的数量、造成飞机损伤的数量、影响航班的数量、造成飞机停工的时间和经济损失等。AVRENLI和DEMPSEY^[12]分析了美国超过42 000次的鸟撞事件,采用多元Logistic回归分析了与发动机故障可能有关的14个因素。DENNIS和LYLE^[13]统计分析了1990年至2007年间收集的来自美国、加拿大和英国的大约11 000次鸟撞事件,分析表明鸟撞事件发生概率和对飞机产生巨大冲击的鸟类数量有所增加。ZALAKEVICIUS^[14]分析了立陶宛从1958年至1978年以及1987年至1991年的鸟撞数据,发现多数鸟撞事件发生在7月,最易发生鸟撞的飞行阶段是进近着陆阶段。STEELE^[15]研究了1986年至2000年影响墨尔本机场鸟撞发生率的因素,发现鸟类数量和活动情况是相当重要的影响因素。

分析现有文献发现,目前对中国境内民航鸟撞事件的研究十分有限,对发动机吸鸟的研究则更少。20世纪80年代末,李其颖^[16]发现4、5、9、10月是鸟撞事件高发期,白天发生的事故约占70%,起飞和着陆阶段鸟撞事件最多。李卫东^[17]依据中国民用航空局航空安全办公室和适航司相关文件,分析了中国民航鸟撞事件基本规律、对飞机的影响、机场鸟类风险评估和预防措施。陈成等^[18]采用定点观测法对河北北部机场鸟类群落和鸟类活动规律进行了调查,发现7月鸟类物种数量最多,10月鸟类活动频率最高。中国民用航空局机场司的咨询通告^[19]也仅研究了全国33个机场的鸟情调研报告和鸟情信息,

简述了2001年至2009年间51起吸鸟事件的情况。综上,国内对航空发动机吸鸟事件发生规律和吸鸟后造成影响的研究相比国外仍存在一定差距。

为全面了解中国境内民航发动机吸鸟事件情况,从吸入鸟类的地理位置、质量、时间、发生阶段特征和吸鸟事件发动机损伤等方面,开展对中国10年间民航吸鸟事件的研究,从而为进一步开展航空发动机吸鸟事件研究及国产航空发动机研制提供参考。

2 数据总体情况

分析数据来源于10年间共1 017次的鸟撞飞机事件,其中发生鸟类吸入发动机的事件共440次,主要涉及的飞机及发动机为国内常见客机及其发动机。440次吸鸟事件中,明确记录的有77次单发单鸟,36次单发多鸟,28次双发多鸟;其余299次事件中,单发吸入未知鸟数185次,双发吸入未知鸟数18次,未知发动机数单鸟吸入45次,未知发动机数多鸟吸入23次,未知发动机数未知鸟数28次。440次吸鸟事件中,明确发生地点的共305次。

3 吸鸟事件特征及分布

3.1 地理分布

图1为10年间国内发动机吸鸟事件分布等高线图,等高线的高度与每个省份的发动机吸鸟事件数量成正比。图中展示了中国主要的3条候鸟迁徙路线^[20],西部迁徙路线为内蒙古西部、甘肃、青海和宁夏的候鸟,秋季向南迁飞至四川盆地西部和云贵高原越冬;新疆地区的湿地水鸟,可向东南汇入该西部迁徙路线。东部迁徙路线为在俄罗斯、日本、朝鲜半岛和中国东北与华北东部繁殖的湿地水鸟,秋季、春季通过中国东部沿海地区进行南、北方向的迁徙。中部迁徙路线是在内蒙古东部、中部草原、华北西部和陕西地区繁殖的候鸟,秋季进入四川盆地越冬,或

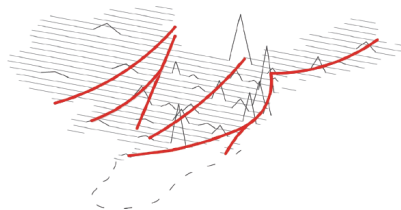


图1 国内发动机吸鸟事件分布等高线图
Fig.1 Contour map of engine bird ingestion events distribution in China

者继续向华中或更南的地区迁徙越冬。由图中也可看出吸鸟事件大多发生在内蒙古地区、华东地区和东南沿海地区。发生吸鸟事件最多的省份是内蒙古,其次为山东、广东和浙江,分别为37次、35次、32次和24次,且吸鸟事件发生较多的地区与中国鸟类迁徙路线基本重合。

图2为美国发动机吸鸟事件分布等高线图。美国本土发生吸鸟事件较多的地区为得克萨斯州、加利福尼亚州、佛罗里达州、伊利诺伊州和纽约州^[6],主要位于美国西部和东部,处于全球9条鸟类迁徙路线中的密西西比-美洲线上。

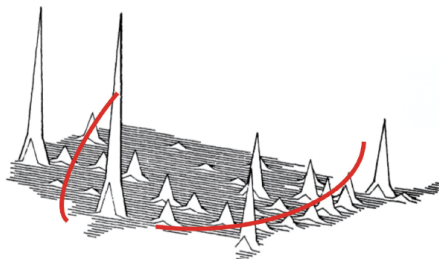


图2 美国发动机吸鸟事件分布等高线图
Fig.2 Contour map of engine bird ingestion events distribution in the United States

综合上述分析可以看出,吸鸟事件主要分布在候鸟迁飞路线上,但由于国家位置不同,导致不同国家吸鸟事件地理分布存在差别。

3.2 种类分布

中美两国^[6]吸入频次前5的鸟类及其质量对比见表1,按吸入频次由多到少排列。可以看出,美国吸入频次较多的鸟类体型较中国普遍较大,以鸥科为主,中国则以体型较小的家燕和麻雀为主。

表1 中美两国吸入频次前5的鸟类及其质量
Table 1 The top 5 bird species and mass of ingestion frequency in China and the United States

中国		美国	
种类	平均质量/g	种类	平均质量/g
家燕	18	普通海鸥	586
麻雀	20	银鸥	1 775
家鸽	450	岩鸽	305
云雀	33	哀鸽	170
环颈雉	1 127	红嘴鸥	374

3.3 质量分布

根据NPRM98-19^[21]中内容可知,吞鸟规章在确

定鸟的质量时,重点考虑了FAA技术中心的研究结果^[6-7]。而FAA关于鸟的质量的研究主要考虑了外场飞行中吸入鸟的质量的平均数、中位数和众数3种数据。

表2给出了中国和美国吸鸟事件鸟的质量的统计值。由表中可以明显看出,中国境内吸鸟事件平均数、中位数和众数均远小于美国。

表2 中国和美国吸鸟事件鸟的质量统计值
Table 2 The statistics of ingested birds by mass in China and the United States

统计量	质量/g		
	中国	美国 ^[6]	美国 ^[8]
平均数	193	695	680
中位数	33	397	482
众数	18	1 134	1 134

表3为中国被吸入鸟类的质量范围 and 对应的吸鸟事件数量。由表中可知,中国被吸入鸟类的质量主要集中在600 g以下,约占吸鸟事件总数的93.0%;美国两次研究吸鸟事件吸入质量600 g以下的鸟分别占58.0%和77.3%。中国被吸入鸟类的质量大于1 000 g的占6.1%,美国两次研究结果分别为35.5%和18.2%。

表3 中国被吸入鸟类按质量分布情况
Table 3 Distribution of ingested birds by mass in China

鸟质量x范围/g	吸鸟事件数量/次
$x \leq 100$	280
$100 < x \leq 200$	32
$200 < x \leq 300$	27
$300 < x \leq 400$	17
$400 < x \leq 500$	43
$500 < x \leq 600$	10
$600 < x \leq 700$	0
$700 < x \leq 800$	0
$800 < x \leq 900$	1
$900 < x \leq 1\,000$	3
$1\,000 < x \leq 1\,100$	3
$1\,100 < x \leq 1\,200$	19
$1\,200 < x \leq 1\,300$	0
$1\,300 < x \leq 1\,400$	3
$1\,400 < x \leq 1\,500$	1
$x > 1\,500$	1

分析表2、表3可以看出,中美两国吸鸟事件中鸟的质量存在显著差异,中国吸鸟事件中鸟的质量小于美国。

3.4 时间分布

表4为10年间年度吸鸟事件数量情况。可以看出,第4年发动机吸鸟事件数量最多,第7年之后吸鸟事件数量逐年减少。值得注意的是,虽然10年间民航每年的飞行架次持续增长,但是吸鸟事件数量没有保持同步增长的趋势。

表4 吸鸟事件按年度分布情况
Table 4 Distribution of ingested birds by year

年度	吸鸟事件数量/次
第1年	19
第2年	12
第3年	25
第4年	139
第5年	59
第6年	10
第7年	93
第8年	37
第9年	30
第10年	16

表5和图3为吸鸟事件按月份分布情况,可以看出7~9月为吸鸟事件多发月份。表6为吸鸟事件按季节分布情况。可见,若按气象划分法划分季节,则夏季吸鸟事件发生次数最多,秋季、春季次之,冬季最少。

吸鸟事件的昼夜分布情况如表7所示。一天中的时间划分为黎明、白天、黄昏和夜间4个时间段。在已知发生时段的吸鸟事件中,白天发生吸鸟事件数量占69.6%,黎明、黄昏和夜间时段吸鸟事件数量明显下降。导致夜间吸入量下降的原因可能有两

表5 吸鸟事件按月份分布情况
Table 5 Distribution of ingested birds by month

月份	吸鸟事件数量/次
1月	15
2月	3
3月	9
4月	27
5月	31
6月	41
7月	81
8月	69
9月	74
10月	41
11月	27
12月	22

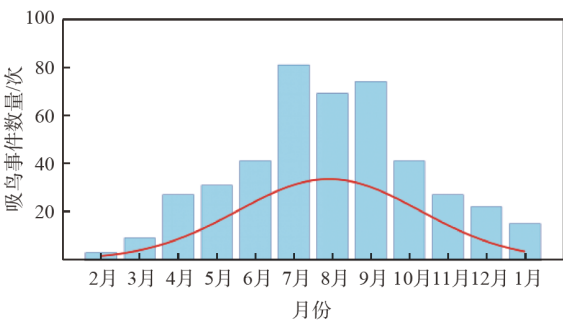


图3 吸鸟事件月份分布趋势
Fig.3 Monthly distribution trend of bird ingestion events

表6 吸鸟事件按季节分布情况
Table 6 Distribution of ingested birds by season

季节	吸鸟事件数量/次
春季(3~5月)	67
夏季(6~8月)	191
秋季(9~11月)	142
冬季(12~2月)	40

表7 吸鸟事件按昼夜分布情况
Table 7 Distribution of ingested birds by time of day

时段	吸鸟事件数量/次
黎明	9
白天	289
黄昏	38
夜间	79
未知	25

个:一是鸟类一般不在夜间活动;二是夜间的航班相对较少。

中国吸鸟事件年度、月份、季节和昼夜分布情况与美国研究结果基本一致,表明吸鸟事件在时间分布上具有相似性。

3.5 发生阶段

将飞机运行分为起飞滑跑、起飞、初始爬升、航路飞行、下降、进近、着陆、着陆滑跑和滑行9个阶段,440起吸鸟事件按阶段分布结果如表8所示。由表可知,在已知发生阶段的吸鸟事件中,着陆滑跑阶段发生吸鸟事件次数最多,约占总数的15.0%。降落相关阶段吸鸟事件多于起飞相关阶段。由于未知发生阶段的吸鸟事件占总数的36.8%,因此不对各阶段数据进行详细比较。而美国研究结果为起飞阶段发生吸鸟事件次数最多,约占总数的39.4%。起飞相关阶段吸鸟事件多于降落阶段。在吸鸟事件发生阶段分布上,中国和美国存在较大差异。

表8 吸鸟事件按飞行阶段分布情况
Table 8 Distribution of ingested birds by flight phase

飞行阶段	吸鸟事件数量/次
起飞滑跑	40
起飞	32
初始爬升	15
航路飞行	2
下降	1
进近	59
着陆	62
着陆滑跑	66
滑行	1
未知	162

4 吸鸟事件发动机损伤

4.1 发动机损伤概况

准确定义吸鸟事件发生后的损伤类型对于制定吸鸟试验标准具有重要意义。根据FAA研究^[6],发动机吸鸟后已知的损伤类型有14种,再补充未知的损伤类型及未知是否发生损伤,共得到17个损伤代码(A~Q)和5个严重性数字代码(1~4,9)。

将中国10年间发动机吸鸟事件按照上述原则进行统计,得到表9、表10。由表9、表10可知,报告发动机损伤事件30次,占总数的6.8%,包含了7种已知损伤类型。30次事件中,仅有1种损伤类型的事件21

表9 损伤代码及损伤发生次数
Table 9 Damage code and number of damage occurrences

损伤代码	说明	发生次数
A(4)	由于吸鸟导致发动机损伤	3
B(3)	前缘扭曲/卷曲,小风扇叶片	0
C(3)	1~3个风扇叶片弯曲或凹陷	14
D(2)	超过3个风扇叶片弯曲或凹陷	7
E(3)	1~10个风扇叶片撕裂	0
F(2)	十多个风扇叶片被撕裂	0
G(2)	风扇叶片、前缘和/或叶尖断裂零件丢失; 其他叶片也有凹痕	0
H(3)	扭曲风扇叶片	2
I(1)	横向断裂——1个风扇叶片弦向断裂	1
J(2)	帽罩有凹痕、破损或破裂(包括帽罩盖)	0
K(1)	压气机叶片/静叶弯曲/断裂,叶片/静叶碰撞	2
L(3)	短舱;发动机护罩(包括整流罩)上的 凹痕和/或穿孔	10
M(1)	法兰;法兰分离	0
N(2)	风扇叶片移位	0
O(1)	涡轮;涡轮损伤	0
P	先前未列出的任何损伤	4
Q	未知是否发生损伤	0

注:损伤代码后面的数字为严重性代码,见表10。

表10 严重性代码及发生次数
Table 10 Severity code and occurrence frequency

严重性代码	解释说明	发生次数
1	严重损伤(已知损伤)	3
2	中度损伤(已知损伤)	6
3	轻微损伤(已知损伤)	18
4	有损伤,但严重程度未知	3
9	无损伤	410

次,有2种损伤类型的6次,有3种及以上损伤类型的3次。无损伤报告的吸鸟事件占93.18%,轻微损伤占4.09%,中度损伤占1.36%,严重损伤占0.68%。

在已知440次吸鸟事件中,在起飞相关阶段,18.39%的发动机吸鸟事件导致了发动机损伤,相对而言降落相关阶段只有5.29%。这在一定程度上反映了发动机推力与发动机损伤之间的关系,发动机的推力在爬升和起飞阶段要明显高于进近和降落阶段。此外,起飞阶段中度及最严重损伤事件的比例也高于降落阶段。440次吸鸟事件中,识别出3种类型的机组人员操作,中断起飞9次,返航8次,无操作423次。其中,返航操作全部发生在起飞和初始爬升阶段。

在美国的两次研究中,造成发动机损伤的吸鸟事件分别为44.7%和59.9%;造成严重损伤的吸鸟事件分别占19.5%和13.2%;起飞相关阶段发动机损伤频率为79.1%和45.0%,降落相关阶段发动机损伤频率为32.7%和24.0%,上述数据均高于中国。因此,中国境内吸鸟事件造成发动机损伤的频率和严重程度均明显小于美国。

4.2 鸟质量与发动机损伤严重性概率的关系

研究表明^[5-7],Logistic分布能够用来描述损伤严重性分布和鸟的质量之间的逻辑关系。损伤严重性分布 P_i 可表示为:

$$P_i(m) = \frac{e^{a+bm}}{1+e^{a+bm}} \tag{1}$$

式中: m 为鸟的质量, a 和 b 为常数系数。

将国内吸鸟事件数据代入式(1)得到发动机轻微损伤发生概率与鸟质量的关系(图4)、发动机中度和严重损伤发生概率与鸟质量的关系(图5)及其90%置信下限曲线。其中,图4中的 a 和 b 分别为-1.976 8和0.002 2,图5中的 a 和 b 分别为-4.368 3和0.002 8。当发动机吸鸟时,其损伤严重性概率 $P(m)$ 可用式(2)表示。

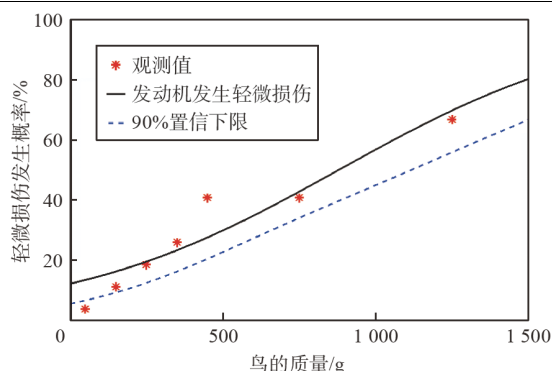


图4 发动机轻微损伤发生概率

Fig.4 Probability of minor engine damage

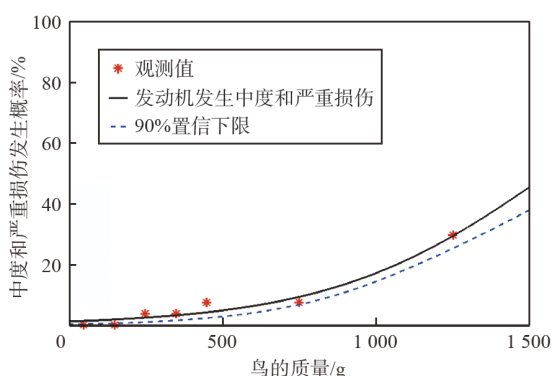


图5 发动机中度和严重损伤发生概率

Fig.5 Probability of moderate and severe engine damage

$$P(m) \leq P_1(m) \cdot P_2(m) \quad (2)$$

式中: $P_2(m)$ 为损伤发生频率, 即某质量范围内发生损伤的吸鸟事件数量与该质量范围内吸鸟事件数量的比值。

根据CCAR-33R2 33.76中对于鸟质量的限制, 当发动机吸入质量不大于700 g的鸟时, 发生损伤的频率为0.036 7, 轻微损伤的 P_1 最大为0.400 1, 中度和严重损伤的 P_1 最大为0.082 2, 则发动机吸入质量不大于700 g的鸟时, 发生轻微损伤的概率小于等于1.47%, 发生中度和严重损伤的概率小于等于0.27%, 不发生损伤的概率大于等于98.26%。

当发动机吸入质量不大于1 150 g的鸟时, 发生损伤的频率为0.059 8, 发生轻微损伤的概率小于等于3.87%, 发生中度和严重损伤的概率小于等于1.43%, 不发生损伤的概率大于等于94.70%。此计算结果与3.1节实际统计结果接近, 因此该计算方法可以用来初步预测发动机吸鸟后发生损伤的概率。

4.3 机组成员操作与发动机损伤的关系

表11显示了在发动机不同损伤情况下机组成员

表11 发动机不同损伤情况下采取不同操作类型的概率

Table 11 Probability of taking action under different damage conditions of the engine

是否损伤及严重程度	中断起飞/%	返航/%
无损伤	1.22	0
有损伤	13.33	26.67
轻微损伤	0	33.33
中度和严重损伤	33.33	22.22

采取不同操作类型的概率。可以看出, 发动机发生中度和严重损伤情况下机组成员采取操作的概率要大于轻微损伤, 计算结果符合一般性认识。

5 结论

通过对中国10年间民航发动机吸鸟事件的研究, 得出如下结论:

(1) 航空发动机吸鸟事件中鸟的质量区间分布总体上偏低, 主要集中在100 g以下的小鸟区域范围内;

(2) 航空发动机吸入质量不大于700 g的鸟时不发生损伤的概率大于等于98.26%, 吸入质量不大于1 150 g的鸟时不发生损伤的概率大于等于94.70%;

(3) 对中国吸鸟事件的分析结果可为后续我国在研民用航空发动机吸鸟安全性评估研究提供参考借鉴;

(4) 待后续发动机吸鸟事件样本量增加后, 可对本文的研究结果进行验证和补充。

参考文献:

- [1] Civil Aviation Authority. British civil airworthiness requirements[S]. 1956.
- [2] Federal Aviation Administration. Airworthiness standards: aircraft engines[S]. 2009.
- [3] European Aviation Safety Agency. Certification specifications for engines[S]. 2007.
- [4] 中国民用航空局. 航空发动机适航规定[S]. CCAR-33R2, 2011.
Civil Aviation Administration of China. Aeroengine airworthiness regulations[S]. CCAR-33R2, 2011. (in Chinese)
- [5] HOVEY P W, SKINN D A, WILSON J J. Study of the engine bird ingestion experience of the Boeing 737 aircraft (October 1986–September 1989)[R]. DOT/FAA/CT-90/28, 1991.

- [6] HOVEY P W, SKINN D A, WILSON J J. Engine bird ingestion experience of the Boeing 747 aircraft-expanded data base (October 1986–September 1989) [R]. DOT/FAA/CT-89/16, 1992.
- [7] BANILOWER H, GOODALL C. Bird ingestion into large turbofan engines[R]. DOT/FAA/CT-93-14, 1995.
- [8] CHESTER M L, TERRANCE G T. Study of bird ingestions into aircraft turbine engines (December 1968–December 1999)[R]. DOT/FAA/AR-TN03/60, 2003.
- [9] DRAGONAS L. Wildlife hazard administration management[R]. ICAO/FAA, 2012.
- [10] DOLBEER R A, WRIGHT S E, WELLER J, et al. Wildlife strikes to civil aircraft in the United States, 1990–2014[R]. DOT/FAA/USDA/APHIS, 2015.
- [11] DOLBEER R A, BEGIER M J, MILLER P R, et al. Wildlife strikes to civil aircraft in the United States, 1990–2022[R]. DOT/FAA/USDA, 2023.
- [12] AVRENLI K A, DEMPSEY B J. Statistical analysis of aircraft–bird strikes resulting in engine failure[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2014, 2449(1): 14–23.
- [13] DENNIS N, LYLE D. Final report bird strike study[R]. 2008.
- [14] ZALAKEVICIUS M. Bird strike analysis in Lithuania [J]. Acta Ornithologica Litvania, 9–10: 87–90, 1994.
- [15] STEELE W K. Factors influencing the incidence of bird-strikes at Melbourne airport, 1986–2000[C]//. 2001 Bird Strike Committee-USA/Canada, Third Joint Annual Meeting. Calgary, Canada: 2001.
- [16] 李其颖. 鸟撞飞机的一般规律和防撞措施[J]. 航空学报, 1988, 9(8): 383–386.
LI Qiying. The general rule of bird's colliding against aeroplanes and anticollision measures[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 1988, 9(8): 383–386. (in Chinese)
- [17] 李卫东. 中国民航飞机鸟击事件统计分析与研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2005.
LI Weidong. Statistics analysis and study on bird strikes of China civil aeroplanes[D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2005. (in Chinese)
- [18] 陈成, 侯建华, 高立杰, 等. 机场鸟类群落与活动规律研究[J]. 河北农业大学学报, 2013, 36(3): 92–97.
CHEN Cheng, HOU Jianhua, GAO Lijie, et al. The composition and activity routines of birds at airport of Hebei province[J]. Journal of Hebei Agricultural University, 2013, 36(3): 92–97. (in Chinese)
- [19] 中国民用航空局机场司. 民用机场常见鸟类防范指南[S]. AC-140-CA-2010-1, 2010.
Civil Aviation Administration of China. Guidelines for the prevention of common birds in civil airports[S]. AC-140-CA-2010-1, 2010. (in Chinese)
- [20] 张荣祖. 中国动物地理[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
ZHANG Rongzu. China Animals Geography[M]. Beijing: Science Press, 2011. (in Chinese)
- [21] Federal Aviation Administration. Airworthiness regulations: bird ingestion[S]. NPRM98-19, 1998.