

鸟击防范研究

苏 秀¹, 朱 曦²

(1. 浙江林学院 林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300; 2. 浙江林学院 旅游与健康学院, 浙江 临安 311300)

摘要: 鸟击灾害会给民航部门和军方造成巨大损失。介绍了鸟击的危害和鸟击的预防, 主要包括飞机的防击设计、机载驱鸟系统、鸟类的监控与预警和机场鸟害生态学防治等方面, 并提出机场鸟击防范重在综合治理, 要将机场鸟击防范与生态学、航空航天学、地理学和环境科学等领域结合起来, 努力减少鸟击灾害的发生。同时, 应在实际调查的基础上, 建立风险评价指标体系, 构建机场鸟类风险评价的实用数学模型, 为机场鸟击防范提供定量依据。参 46

关键词: 鸟击; 防击设计; 生态学防治; 综述; 风险评价; 航空器

中图分类号: Q957.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5692(2009)06-0903-06

Prevention and control of birdstrike

SU Xiu¹, ZHU Xi²

(1. School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China;

2. School of Tourism and Health, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: With the development of aviation, birdstrike disasters caused great loss to civil and military aviation. The danger and prevention methods of birdstrike were introduced intensively in this article. The prevention methods included anti-bird impact design of airplanes, birds driving system, modeling of birds and ecological management in airports. It was suggested that integrated management be the key to the prevention and control of birdstrike. The paper was also aimed to combine prevention and control of birdstrike with ecology, aeronautics, geography and environment science. Meanwhile, it was suggested using a simple and useful method to evaluate the risk of birdstrike based on some useful mathematic methods as a quantifiable basis in resolving the birdstrike at airports. [Ch, 46 ref.]

Key words: birdstrike; anti-bird impact design; ecological prevention; review; risk assessment; air vehicle

鸟机撞击(birdstrike), 简称为“鸟撞”或“鸟击”, 是飞机等航空器与空中飞行的鸟类相撞事件的简称。研究这类事故, 探讨飞机与鸟类的关系, 并用科学的手段加以预防, 逐渐形成了航空鸟类学这一研究领域^[1]。世界上第一起鸟击事故发生在 1912 年, 当时飞行员 Carl Rogers 驾驶一架小型螺旋桨飞机撞上一只海鸥 *Larus sp.*, 飞机失去控制而坠毁, 飞行员不幸遇难^[2]。鸟击飞机事件在全球范围内常有发生, 据有关资料统计, 全世界约有 7 500 架次飞机·a⁻¹ 受到不同程度的鸟击。在日本约发生鸟击事件 607 起·a⁻¹, 其中仅在东京就发生 64 起·a⁻¹。美国的肯尼迪国际机场发生的鸟击事件均超过 150 起·a⁻¹, 1996 年多达 189 起。2006 年 11 月 14 日, 中国飞行员李剑英驾驶歼击机在降落途中, 因飞机撞鸽 *Ectopistes migratorius* 群发生故障, 李剑英为保护飞机下方的村庄和群众免受伤害, 多次放弃跳伞求生机会最终遇难。近年来, 随着速度更快、噪声更小的宽体喷气式客机投入商业运营, 以及空中交通日趋繁忙, 鸟击问题越来越突出。

收稿日期: 2008-10-13; 修回日期: 2009-03-03

作者简介: 苏秀, 实验师, 硕士, 从事生物防治研究。E-mail: suxiu@zjfc.edu.cn。通信作者: 朱曦, 教授, 从事鸟类学和保护生物学研究。E-mail: zhuxi@zjfc.edu.cn

1 鸟击的危害

鸟击导致飞行事故,危害人及鸟的生命安全。1988年,一架B737-200型飞机在埃塞俄比亚哈达尔机场起飞时,两侧发动机吸入鸽群,导致发动机功率丢失,飞机着陆撞到河岸起火,造成机上35人死亡,21人受重伤。1995年9月22日,美国一架空军飞机在阿拉斯加的塞尔门多夫机场起飞时,左侧发动机吸入加拿大雁 *Branta canadensis*,飞机爆炸坠毁,机上24人全部遇难。1950年以来,全球空军共发生353起严重事故,公开报道的死亡人数达165人(至2002年),其中148名机组人员,17名地面人员,多数是飞机毁坏或无法修理。中国民航在1991-2004年间共发生鸟击事件635起,其中导致中等以上损失的有190起。近年来,中国民航运输类飞机因鸟击导致的事故征候占运输类飞机总事故征候的26.2%,是第三大事故征候类型。

鸟击造成的经济损失是巨大的。以发动机为例,仅2002年,全世界范围内鸟击事件导致近360台飞机发动机受损^[3]。依据不同型号,修复受损的发动机将花费25万到100万美元不等。当一架飞机因鸟击事故而坠毁,其直接经济损失可以高达数百万美元^[4]。由于世界范围内更为昂贵的宽体喷气式客机逐渐投入商业运营,鸟击可能会造成更大的经济损失^[5]。相对于直接经济损失,鸟击所造成的间接经济损失则更为巨大,它包括延误飞行、取消航班、航空公司的名誉下降等。一般认为,鸟击所造成的间接经济损失是直接经济损失的4倍。据统计资料表明,鸟击给北美航空事业每年造成约5亿美元的损失^[6]。由此可见,深入开展机场鸟击防范研究对于保护生命财产有极其重要的意义。

2 鸟击的防范

在国外,鸟击研究已经有几十年的历史。1960年10月4日,一架喷气式客机在美国波士顿Logan国际机场起飞后不久,其中4个发动机中的3个吸入了大量紫翅椋鸟 *Sturnus vulgaris*,飞机随后坠毁,机上72人中62人(包括全部4名机组人员)丧生。这一事件促使各国开始关注鸟击问题^[4]。1962年,一些国家相继成立了国家鸟击委员会(National Bird Strike Committee),开展有关鸟击问题的研究工作。1963年有关国家在法国召开了第1次国际鸟击问题学术会议;1966年,国际性的“欧洲鸟击委员会”(Bird Strike Committee Europe, BSCE)在德国法兰克福成立。该委员会每2年召开1次会议,交流鸟击研究、预防鸟击技术进展及其他的有关信息,组织和协调各国间鸟击预防研究及技术计划的实施。1996年5月,欧洲鸟击委员会在伦敦第23次会议上更名为“国际鸟击委员会”(International Bird Strike Committee, IBSC)。国际民航组织由其设在加拿大的“总秘书处”负责有关鸟击事务。1992年11月24日中国南方航空公司波音737-2523号飞机执行3943航班任务,由广州飞往桂林,在广西阳朔县杨堤乡土岭村后山粉碎性解体,141人遇难。这是中国民航史上最严重的一次空难。中国动物学会鸟类学分会于1994年成立了鸟击研究组,参与和指导了各地机场鸟击的防治研究。同时,中国民航机场司、机场安全中心负责指导并协调全国各机场的鸟击防范工作。目前,国外许多机场对鸟击都做了比较全面的研究^[7-9],研究内容包括鸟击的危害,发生的频次^[10-11],发生的时间与季节^[12],发生的高度及空域^[13-16],鸟撞与天气^[17],引起鸟击的鸟类^[18-21],飞机的防撞设计^[22-23],鸟类的监控与预警^[24-27],鸟击的防范^[28-30]等。总体来说,可以将机场鸟击防范研究总结为以下几个方面。

2.1 飞机的防击设计

为了防止鸟击给飞行安全造成危害,增强飞机部件的防击性能至关重要。飞行器抗鸟击设计研究首先是从试验开始的,飞机部件,特别是鸟击后容易损坏的部件和损坏后容易造成飞行事故的部件:机头、发动机、风挡等在研制阶段需经过专门的防击实验。鸟击试验研究受到世界航空发达国家的普遍重视和关切,因此,世界航空发达国家纷纷制订了飞机抗鸟击设计规范和试验规范,中国民航适航条例也对飞机抗鸟击试验提出了明确的要求^[31]。

飞行器抗鸟击实验可以验证鸟击设计是否满足要求,但它不能预先指导飞行器的设计。随着计算机技术与有限元数值计算理论的发展,美国开始全面系统地开展飞行器鸟击动力响应分析方法的研

究, 并形成了以鸟撞动力响应分析与鸟击试验相结合的方法来进行飞行器抗鸟击设计。采用这一方法的优点是: 在飞行器设计阶段, 就能根据鸟击指标要求, 对飞行器结构抗鸟击的能力进行分析, 以保证其顺利通过鸟击试验考核, 这样即可节省试验费用又可确保飞机研制工作按期完成^[32]。

飞机风挡的抗鸟击能力是影响飞行安全的重要因素。20 世纪 60 年代, 各国已经开始对风挡抗鸟击问题进行研究, 研究内容包括风挡材料、设计结构对抗鸟击能力的影响, 提高风挡抗鸟击能力的综合途径, 评价风挡抗鸟击能力的方法等。中国的臧曙光等^[33]研究人员采用了 DYNA3D 有限元分析程序对飞机前风挡进行了全面的鸟击分析, 计算模拟分析结果和试验结果吻合较好, 可用于分析、设计其他风挡玻璃的抗鸟击能力。

2.2 机载驱鸟系统

在飞机上加载特殊的驱鸟设备, 使飞机在飞行过程中有效地驱散前方的鸟类, 也是鸟击防范的一个方向。在已有的尝试中, 科研人员发现机载灯光、激光和微波等设备在实际运用中的效果十分有限。

中国的空中驱鸟系统在驱鸟手段方面, 采用音频与频闪灯及运动的载体复合的驱鸟法。录下鸟类在悲哀、痛苦和惊吓时的叫声, 并将其转化成数字信息, 使用时利用空中运动载体将这种叫声播放出去, 再配以灯光刺激, 产生一种真实的恐怖气氛和环境。这种叫声包含着一种固有的生物信息, 正如人类永远不能习惯人类自身的哀鸣声一样, 鸟类听到这种悲哀、痛苦和惊吓时的叫声, 就会感到十分痛苦和惊慌, 进而离开这个环境, 从而达到驱鸟的目的。将监视装置安装在航模上, 能有效地把握飞机起降空间鸟类存在的情况, 以增强驱鸟效果^[34]。

2.3 鸟类的监控与预警

机场鸟击防范工作是一项长期的艰苦的复杂的多学科的系统工程, 涉及鸟类学、生态学、航空飞行、空管和雷达探测等方面的内容。这样一个综合性跨学科的工程, 需要建立一套科学的、分工明确的、高效率的预警防范系统。现有的计算机网络技术, 配合数码相机和数码摄像仪, 完全可以建立一种高效的、专业的、系统的鸟击预警防治管理网络, 实现鸟情信息共享, 发布鸟击预警, 组织实施鸟击防范工作。美国空军“鸟击防治小组”应用了一套鸟情预警系统(bird avoidance model, BAM), 这个模型通过对美国本土多年来鸟类调查资料的分析, 从而预报特定地点、特定时间的鸟类情况, 特别是迁徙鸟类的情况, 据此可以指定相应的飞行计划, 选择鸟类较少活动的空域进行飞行训练, 以避免让鸟类^[35]。

中国一些机场的工作人员也提出了成立国家-地区-机场三级的鸟害预警防制系统, 专门致力于航空鸟击的防范和预警。该系统应为常设机构, 归航空和地面安全保障部门管理。并提出了鸟害预警防治系统的构成、工作重点等具体问题^[36]。上海浦东机场将计算机与鸟类学相结合, 建立了鸟情信息系统, 对于鸟情预警系统的建立和完善有积极作用^[37]。

2.4 机场鸟击的生态学防治

机场鸟击灾害的根源在于机场环境对鸟类的吸引。因此, 减少机场环境中吸引鸟类的生态因子是解决机场鸟害威胁的根本方法。根据生态位理论, 经过、进入或栖息于机场的鸟类都有时间空间上的位置及其与相关种群之间的功能关系, 即机场有吸引鸟类的食物、水源及栖息地或营巢地等因素, 或者机场处于鸟类迁徙路线上。另外, 机场的地理位置、当地的气候和天气状况等也是鸟击灾害的影响因素^[38]。

目前, 中国大部分机场都开展了机场生态调查^[39-43]。在调查的基础上采取措施破坏机场附近适宜鸟类栖息、隐蔽和觅食的环境。如切断食物链, 噪声干扰, 地面硬化等措施, 使鸟类知难而退, 远离机场附近环境; 管好灌木、草地。如果机场及周围有灌木丛或树木, 草地生长过茂过高, 这些地区常会有许多虫类, 很容易成为鸟类觅食栖息的场所。机场草坪选种单一草种, 使机场内草地生态环境单一, 减少对鸟类的吸引力。昆明巫家坝国际机场提出了以食物生态链方式控制鸟击的途径^[44], 上海浦东机场实施了种青引鸟工程, 对鸟击防治起到了很有效的作用^[45]。

3 鸟击综合防范和鸟击风险评价

综合治理无疑是鸟击防范最有效的途径。把各种不同而又相互关联的防范方法结合在一起,将机场鸟害防范与生态学、航空航天学、地理学和环境科学等领域结合起来通过改善机场和机场周围的环境,配置适当的驱鸟设施、设备,结合鸟类宣传统筹安排,全面治理,从上到下形成一个立体的全方位的鸟防系统。

机场的鸟类由于所处位置的特殊性及自身的特性,风险大小也不一样。应在实际调查的基础上,建立风险评价指标体系,构建机场鸟类风险评价的实用数学模型,就各种鸟的单个风险指标给出定量的结果,确定防范工作的重点对象^[46]。

世界上没有一个机场或哪一种飞行器可以完全免受鸟类撞击的灾难,目前也没有一种可以根治机场鸟类及其他野生动物灾害的办法。对机场鸟类的控制,其主要目的是要减少吸引鸟类的因素,减少鸟机撞击灾难的发生,并使灾难发生后的影响或损失降低到最低程度。

参考文献:

- [1] 魏天昊, 高育人. 航空鸟类学[J]. 生命科学, 1992, **4** (2): 27 - 29.
WEI Tianhao, GAO Yuren. Avi-ornithology [J]. *Life Sci*, 1992, **4** (2): 27 - 29.
- [2] BLOKPOEL H. *Bird Hazards to Aircraft* [M]. Toronto: Irwin Clark, 1976.
- [3] 国际民航组织. 国际民航组织 2000 年鸟击分析报告[R]. 中国民航总局机场司航空安全技术中心, 译. 北京: 中国民航总局机场司航空安全技术中心, 2002.
- [4] SODHI N S. Competition in the air: birds versus aircraft [J]. *Auk*, 2002, **119**: 587 - 597.
- [5] ROBINSON M. Is the possibility of aircraft bird strike growing [J]. *Proc Int Bird Strike Comm*, 2000, **25**: 169 - 178.
- [6] MACKINNON B, SOWDEN R, DUDIEY S. Sharing the skies: an aviation guide to the management of wildlife hazards [M]. Ottawa: Aviation Publishing Division, 2001.
- [7] KUZĪR S, MUŽINIĆ J. Birds and air traffic safety on Zagreb Airport(Croatia)[J]. *The Environmentalist*, 1998, **18**: 231 - 237.
- [8] BROWN K M, ERWIN R M, RICHMOND M E, *et al.* Managing birds and controlling aircraft in the Kennedy Airport-Jamaica Bay Wildlife Refuge Complex: the need for hard data and soft opinions [J]. *Environ Manage*, 2001, **28** (2): 207 - 224.
- [9] DARRY L Y, RICHARD M E, JOHN L C, *et al.* A review of the hazards and mitigation for airstrikes from Canada geese in the Anchorage, Alaska bowl [J]. *Int Manage Rev*, 2001, **6**: 47 - 57.
- [10] KELLY T C, BUURMA L, O'CALLAGHAN M, *et al.* Why do birds collide with aircraft? a behavioral approach[J]. *Proc Intl Bird Strike Comm*, 2000, **25**: 13-21.
- [11] CLEARY E C, DOLBEER R A, WRIGHT S E. *Wildlife Strikes to Civil Aircraft in the United States*, 1990 - 2003 [R]. Washington: Federal Aviation Administration. Department of Transportation, 2004.
- [12] CHILVERS B L, RYAN C J, HICKLING G J. Factors affecting pilot-reported bird strikes rates at Christchurch International Airport, New Zealand [J]. *New Zealand J Zool*, 1997, **24**: 1 - 7.
- [13] SMITH M. From a strike to kill [J]. *New Sci*, 1986, **110**: 44 - 47.
- [14] NEUBAUER J C. Why bird kill: cross-sectional analysis of U.S. Air Force bird strike data [J]. *Aviat Space Environ Med*, 1990, **61**: 343 - 348.
- [15] CLEARY E C, WRIGHT S E. *Wildlife Strikes to Civil Aircraft in the United States 1990-1998*[R]. Washington: Federal Aviation Administration. Office of Airport Safety and Standards, 1999.
- [16] ESCHENFELDER P. Phoenix rio salado/tempe down lake [J]. *Proc Int Bird Strike Comm*, 2000, **25**: 333 - 337.
- [17] Manktelow S. The effect of local weather conditions on bird-aircraft collisions at British airports [J]. *Proc Int Bird Comm*, 2000, **25**: 317 - 329.
- [18] SOLMAN V E F. Gulls and aircraft [J]. *Environ Conserv*, 1978, **5**: 277 - 280.
- [19] BURGER J. Factors affecting bird strikes on aircraft at a coastal airport [J]. *Biol Conserv*, 1985, **33**: 1 - 28.
- [20] DOLBEER R A, WRIGHT S E, CLEARY E C. Ranking the hazard level of wildlife species to aviation[J]. *Wildlife Soc*

- Bull*, 2000, **28**: 372 – 378.
- [21] OWINO A, BIWOTT N, AMUTETE G. Bird strike incidents involving Kenya airways flights at three Kenyan airports 1991 – 2001[J]. *African J Ecol*, 2004, **42**: 122 – 128.
- [22] AVERY M L, HUMPHREY J S, PHARES K O, *et al.* Dispersing vulture roosts on communication towers [J]. *J Rap Res*, 2002, **36**: 45 – 50.
- [23] MICHAEL L A, ANN C G. Avian perching deterrents on ultrasonic sensors at airport wind-shear alert systems [J]. *Wildlife Soc Bull*, 2004, **32** (3): 718 – 725.
- [24] FSF EDITORIAL STAFF. Military Boeing 707 strikes birds after liftoff: damage to engines No.1 and No.2 results in loss of power and impact with terrain [J]. *Accident Prev*, 1996, **53** (11): 395 – 402.
- [25] LESHEM Y. Flight safety, internet and education-a leading tool for global awareness [J]. *Proc Int Birds Strike Comm*, 2000, **25**: 13–21.
- [26] DEFUSCO R P. Current status of the USAF bird avoidance model (BAM)[J]. *Proc Int Birds Strike Comm*, 2000, **25**: 51 – 55.
- [27] SHORT J J, KELLY M E, SPEELMAN R J, *et al.* Bird strike prevention: applying aero-science and bioscience [J]. *Proc Int Birds Strike Comm*, 2000, **25**: 463 – 485.
- [28] BUCKLEY P A, MCCARTHY M G. Insects, vegetation, and the control of laughing gulls (*Larus atricilla*) at Kennedy International Airport, New York City [J]. *J Appl Ecol*, 1994, **31**: 291 – 302.
- [29] BAXTER A. Use of distress calls to deter birds from landfill sites near airports [J]. *Proc Int Bird Strike Comm*, 2000, **25**: 401 – 409.
- [30] PATTERSON B. Wildlife control at vancouver international airport: introducing border collies [J]. *Proc Intl Bird Strike Comme*, 2000, **25**: 1 – 7.
- [31] 朱俊, 李玉龙. 飞机鸟撞试验瞬时速度的连续测试方法研究[J]. 测控技术, 2003, **22** (12): 5 – 7.
ZHU Jiu, LI Yulong. Research for the instantaneous velocity measurement in aircraft bird-impact test [J]. *Meas Control Technol*, 2003, **22** (12): 5 – 7.
- [32] 张志林, 姚卫星. 飞机风挡鸟撞动响应分析方法研究[J]. 航空学报, 2004, **25** (6): 577 – 580.
ZHANG Zhilin, YAO Weixing. Research on dynamic analysis of bird impact on aircraft windshield [J]. *Acta Aeronaut Astronaut Sin*, 2004, **25** (6): 577 – 580.
- [33] 臧曙光, 武存浩, 汪如洋, 等. 飞机前风挡鸟撞动力响应分析[J]. 航空材料学报, 2001, **20** (4): 41 – 45.
ZANG Shuguang, WU Cunhao, WANG Ruyang, *et al.* Bird impact dynamic response analysis for windshield [J]. *J Aeronaut Mater*, 2001, **20** (4): 41 – 45.
- [34] 钟诗胜, 张恩惠, 王瑞, 等. 一种机场空中驱鸟设备与系统的研究[J]. 南京理工大学学报, 2004, **28** (3): 238 – 242.
ZHONG Shisheng, ZHANG Enhui, WANG Rui, *et al.* An anti-bird device and system for airport [J]. *J Nanjing Univ Sci Technol*, 2004, **28** (3): 238 – 242.
- [35] 杨荣. 鸟撞危害及其防治 [C]//中国动物学会鸟类学分会. 第六届海峡两岸鸟类学研讨会论文集. 海口: [s. n.], 2005: 331 – 339.
- [36] 张振明, 赵蜀平, 梁四广, 等. 构筑鸟害预警防治系统的探讨[J]. 空中交通管理, 2005 (3): 41 – 45.
ZHANG Zhenming, ZHAO Shuping, LIANG Siguang, *et al.* Exploration into constructing alerting, prevention, and cure system for bird pest [J]. *Air Traffic Manage*, 2005 (3): 41 – 45.
- [37] 李俊红, 何文珊, 陆健健. 浦东国际机场鸟情信息系统的设计和建立[J]. 华东师范大学学报: 自然科学版, 2001 (3): 17 – 23.
LI Junhong, HE Wenshan, LU Jianjian. Design and buildup of avian situation information system for Shanghai Pudong International Airport [J]. *J East China Nor Univ Nat Sci*, 2001 (3): 17 – 23.
- [38] 吴琦, 唐思贤, 乐观. 机场鸟击事故灾害的生态防治[J]. 中国安全生产科学技术, 2006, **2** (1): 40 – 44.
WU Qi, TANG Sixian, LE Guan. Study on ecological prevention and control of birdstrike accident disasters at the airports [J]. *J Saf Sci Technol*, 2006, **2** (1): 40 – 44.
- [39] 杨效东, 魏天昊, 盛才余, 等. 重庆机场草坪土壤动物及其与鸟类关系的初步研究[J]. 动物学研究, 1998, **19** (3): 209 – 217.
YANG Xiaodong, WEI Tianhao, SHENG Caiyu, *et al.* A study on the soil fauna characters and relation with birds in

- Chongqing Airport grassland [J]. *Zool Res*, 1998, **19** (3): 209 – 217.
- [40] 吴学灿, 李英南, 朱祥. 昆明机场植被生态学调查及生境控制策略[J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2001, **23** (植物学专辑): 41 – 45.
- WU Xuecan, LI Yingnan, ZHU Xiang. Investigation of the vegetation in Kunming Airport and strategies for bird habitat control [J]. *J Yunnan Univ Nat Sci Ed*, 2001, **23** (plant ed): 41 – 45.
- [41] 许青, 李炳辉, 林睿. 哈尔滨太平国际机场冬季鸟类组成及鸟撞预防措施效果的分析[J]. 东北林业大学学报, 2003, **31** (3): 41 – 43.
- XU Qin, LI Binghui, LIN Rui. The birds composition and analysis on birdstrike prevention in winter at Harbin Taiping International Airport [J]. *J Northeast For Univ*, 2003, **31** (3): 41 – 43.
- [42] 梁余, 张跃文, 蔡洪岩. 机场生态环境与鸟害[J]. 吉林林业科技, 2004, **33** (3): 29 – 31.
- LIANG Yu, ZHANG Yuewen, CAI Hongyan. Ecological environment and bird pest control in the airport [J]. *J Jilin For Sci Technol*, 2004, **33** (3): 29 – 31.
- [43] 赵云龙, 唐思贤, 王群, 等. 上海虹桥机场土壤及草丛动物群落特征和鸟类关系研究[J]. 生态学报, 2004, **24** (6): 1219 – 1224.
- ZHAO Yunlong, TANG Sixian, WANG Qun, *et al.* Relationship between soil and grassland fauna characters and the birds in Hongqiao Airport grassland, Shanghai [J]. *Acta Ecol Sin*, 2004, **24** (6): 1219 – 1224.
- [44] 胡玉洪, 朱翔, 魏天昊, 等. 昆明(巫家坝)国际机场鸟害防治研究[J]. 云南环境科学, 2003, **22** (3): 12 – 14.
- HU Yuhong, ZHU Xiang, WEI Tianhao, *et al.* Research on controlling bird pest in Kunming (Wujiaba) International Airport [J]. *Yunnan Environ Sci*, 2003, **22** (3): 12 – 14.
- [45] 陆健健, 何文珊, 童春富. 浦东国际机场生态建设与民航飞行安全[J]. 上海建设科技, 2005 (1): 33 – 35.
- LU Jianjian, HE Wenshan, TONG Chunfu. Pudong International Airport's ecological construction and flight safety of civil aviation [J]. *Shanghai Constr Sci Technol*, 2005 (1): 33 – 35.
- [46] 王志高, 周放, 李相林, 等. 机场鸟撞防治中的鸟类风险评估[J]. 生态科学, 2007, **26** (1): 69 – 74.
- WANG Zhigao, ZHOU Fang, LI Xianglin, *et al.* Bird risk assessment for bird strike prevention and control at airports [J]. *Ecol Sci*, 2007, **26** (1): 69 – 74.