

广西内陆风电场鸟类碰撞风险评价

吴雪云^① 张振^② 许萍^③ 张玉将^② 蒋爱伍^{①*}

① 广西大学林学院 南宁 530004; ② 国家电投集团广西兴安风电有限公司 兴安 541300;

③ 中国能源建设集团广西电力设计研究院有限公司 南宁 530004

摘要: 随着风电产业的快速发展, 全国各地风电机数量迅速增加, 风电场对鸟类的影响也引起各方广泛关注。然而, 目前对陆上风电场鸟类碰撞风险的评估研究仍然较为缺乏。本研究以广西兴安风电场为例, 于2023年4和5月以及9和10月, 采用样线法和尸体搜索法, 对风电场及其周边5 km范围内的鸟类和鸟撞事故进行调查, 构建风电场鸟类碰撞风险评估模型, 并结合近3年(2022至2024年)兴安风电场鸟类碰撞死亡的数量统计以及文献数据收集, 对该评估模型进行分析和验证。结果显示, 在调查的85种鸟类中, 具有极高碰撞风险的鸟类共有14种(16.5%), 高碰撞风险的鸟类共有23种(27.1%), 中碰撞风险的鸟类共有22种(25.9%), 低碰撞风险的鸟类共有26种(30.6%)。结合实地调查(18次)和文献搜集(11次), 共记录29次鸟撞事件, 发生鸟撞的鸟类隶属于5目7科13种, 属于极高风险的有6种, 共发生19次鸟撞死亡事件, 占鸟撞死亡事件的65.5%; 高风险的有5种, 共发生8次鸟撞死亡事件, 占鸟撞死亡事件的27.6%; 中风险和低风险共2种, 共发生2次鸟撞死亡事件, 占鸟撞死亡事件的6.9%。研究结果显示, 极高风险和高风险等级的鸟类碰撞概率较高, 鸟类碰撞风险模型评估结果与实际调查情况相符, 该模型在评估陆上风电场鸟类碰撞风险方面具有实用价值, 可为鸟类碰撞风险评估和风电场鸟撞防范提供科学支持。

关键词: 兴安风电场; 鸟撞; 风险等级; 风险评价; 春秋季节

中图分类号: Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2025) 03-356-15

Bird Collision Risk Assessment at Inland Wind Farms in Guangxi, China

WU Xue-Yun^① ZHANG Zhen^② XU Ping^③ ZHANG Yu-Jiang^② JIANG Ai-Wu^{①*}

① *College of Forestry, Guangxi University, Nanning 530004;* ② *Guangxi Xing'an Wind Power Co., LTD, Xing'an 541300;* ③ *China Energy Construction Group Guangxi Electric Power Design and Research Institute Co., LTD., Nanning 530004, China*

Abstract: [Objectives] With the rapid development of the wind power industry, the number of wind turbines has increased rapidly across the country, and the impacts of wind farms on birds have attracted widespread attention. However, there is still a lack of research on assessing the collision risk of birds on wind farms. **[Methods]** We took Guangxi Xing'an wind farm as an example and investigated avian community and bird

* 通讯作者, E-mail: aiwuu@163.com;

第一作者介绍 吴雪云, 女, 硕士研究生; 研究方向: 鸟类生态学; E-mail: 1913574229@qq.com.

收稿日期: 2024-08-02, 修回日期: 2024-11-20 DOI: 10.13859/j.cjz.202524180 CSTR: 32109.14.cjz.24180

collisions within 5 km of the wind farm as well as its surroundings in April-May and September-October 2023 by using the line transect method and the carcass search method. We constructed a collision risk assessment model for birds in wind farms and analyzed its validity by combining bird mortality data in Xing'an wind farm in the past three years and literature review. **[Results]** The results showed that among the 85 bird species investigated, fourteen species (16.5%) were ranked as extremely high collision-risk, twenty-three (27.1%) ranked as high collision-risk, twenty-two (25.9%) ranked as medium collision-risk, and twenty-six (30.6%) ranked as low collision-risk (Appendix 1). A total of 29 bird strikes were recorded through a combination of field surveys and literature review, including 18 field investigation records and 11 literature collection records, and the birds that had bird strikes belonging to 13 species in 5 orders, 7 families. Among these species, 6 were ranked as extremely high risk, with 19 bird strike fatalities observed, accounting for 65.5% of the total bird strike fatalities; 5 species were ranked as high risk, with 8 bird strike fatalities observed, accounting for 27.6% of the total bird strike fatalities; and 2 species were ranked as medium to low risk, with a total of 2 fatal bird strikes observed, accounting for 6.9% of the total bird strike fatalities (Table 1). **[Conclusion]** The results indicated that birds of extremely high risk and high risk classes have a higher probability of collision, and the results of the bird collision risk model are consistent with field survey results. This model provides a practical value to assess the risk of bird strikes in wind farms. Its utilization can support bird strike risk assessment for prevention in advance.

Key words: Xing'an wind farm; Bird collisions; Risk levels; Risk assessment; Spring and autumn

随着“碳达峰和碳中和”目标的提出，全球对可再生能源的需求日益增长。风能作为一种清洁、可再生的能源得到广泛的推广和支持。根据国家能源局公布的数据，截至 2024 年 3 月底，全国风电累计装机容量达到 4.57 亿千瓦，较 2023 年增长了 22%，其中陆上风电为 4.19 亿千瓦，海上风电为 3 803 万千瓦（国家能源局 2024）。然而，风电产业的快速发展也对生态环境产生了一定的影响。风电场的建设和运营会引起植被破坏、土壤侵蚀和水土流失等问题，从而对自然环境造成破坏（赵吴鹏 2016，李方园等 2020）。在众多影响中，由于鸟类在飞行过程中可能会与风机叶片发生碰撞，并导致其死亡（Loss et al. 2013，Smallwood et al. 2020），因此风电场建设对鸟类的影响尤其引起了公众、学者和管理部门的关注。

风电场建设和运营会对鸟类产生直接和间接的影响。间接影响主要包括风电场产生的噪音干扰（Dooling 2002）、导致鸟类栖息地退化或丧失（Marques et al. 2020）和迁徙路径的改

变（Villegas-Patracá et al. 2014）等。虽然间接影响对鸟类的影响可能更加持久，但由于其影响程度难以进行定量观察，因此研究相对较少。相对而言，直接影响受到广泛关注，主要集中在鸟类与风电场中的风机叶片的碰撞事件上，这种碰撞常被称为“鸟撞”（崔怀峰等 2008）。鸟撞不仅会造成鸟类个体直接碰撞死亡（Miguel et al. 2012，Cabrera-Cruz et al. 2020，Choi et al. 2020，Schaub et al. 2020），还可能引起鸟类种群数量（Furness et al. 2013，Gómez-Catasús et al. 2018，Schippers et al. 2020）和密度下降（Pearce-Higgins et al. 2010）以及群落多样性降低（Wang et al. 2015）。因此，如何准确评估风电场的鸟类碰撞风险，对鸟类保护具有重要的意义。

虽然鸟类与风机的碰撞问题受到了广泛关注，但目前国内外对风电场鸟类碰撞风险的评价研究还相对较少。国内关于风电场内鸟类的研究主要集中在死亡鸟类的种类、数量及可能致死原因的调查（张立博等 2022）以及鸟类死

亡率计算 (蔡澜涛等 2023), 缺乏对风电场区域分布鸟类的风险评估研究。国外分析鸟类碰撞风险的模型主要考虑飞过风机的鸟类数量以及这些鸟类撞击的概率。例如, Tucker (1996) 首次提出了风电场中鸟类碰撞风险的分析方法, 通过计算鸟类飞过风机叶片扫掠区时的撞击概率来评估风险。然而, 该模型未考虑通过风机的鸟类数量、风机相关的特征参数及鸟类的回避行为等因素。在 Tucker (1996) 模型的基础上, Band 等 (2007) 通过加入风机周围鸟类的数量和风机相关参数, 结合实地研究和统计建模, 预测鸟类在风力设施中的碰撞死亡风险。这些方法都取得了较好的效果, 但这些研究模型的很多参数需要在运营后进行长期的观察。在风电场的环境影响评价中, 国内的环评周期通常在 1 至 2 年内完成 (国家能源局 2016), 而德国和澳大利亚等国家一般需要 3 至 5 年 (Wehrmann 2017)。此外, 国内对风电场建成后的鸟类风险评价研究较为有限, 因此基于前期调查数据进行鸟类风险评估研究尤为重要。

虽然我国在风电场鸟类碰撞风险评价上还未开展过相关研究, 但在与之相似的机场, 对鸟撞风险评估的方法已经较为成熟 (王志高等 2007, 2008, 王维等 2022, 苏志刚等 2023)。基于此, 本文以广西兴安风电场为例, 综合考虑鸟类多方面的特征, 开展鸟类碰撞风险评估研究。结合实际情况, 本文基于鸟类的数量、相对时间、相对空间、相对体重、相对体长及飞行高度六个关键因子, 构建一个可以定量评估不同鸟类碰撞风险大小的模型, 并通过鸟类实际撞击事件进行验证, 为我国风电场鸟撞风险评估提供科学依据。

1 研究区域概况

兴安风电场位于广西兴安县兴安镇源江村附近的山脊区域, 中心地理坐标约为 25°32'04" N, 110°36'52" E, 由源江、唐家冲、平岭、严关一期、西坑和殿堂等 10 个风电场组成, 是华

南地区目前已建成并投入运营的风电场中风机数量最多、规模最大的山地风电场群。风电组有 365 台, 总装机容量 600 000 kW, 风机额定风速为 9.5 m/s, 轮毂高度 80 m, 风轮直径 116 m, 风机叶片旋转时, 其尖端的最高点可达地面以上 138 m, 最低点为地面以上 22 m。

该场址位于低中山地貌区, 在越城岭山脉和海洋山山脉之间, 海拔 200 ~ 1 300 m, 相对高差 150 ~ 500 m。当地地形起伏连绵, 山顶多呈浑圆状, 少部分为尖顶, 自然坡度主要在 15° ~ 35° 之间, 局部地区可达 75° 的陡坡, 主要为荒草坡, 局部冲沟处有低矮灌木林分布。该区域属于中亚热带湿润季风气候, 年平均气温为 18.6 °C, 年平均降雨量达 1 876.5 mm。山区植被呈明显的垂直分布特征, 上坡主要分布着禾本科草丛、灌木林和人工林, 包括杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 林和少量马尾松 (*Pinus massoniana*) 林, 而山腰以下及沟谷地区则以次生常绿阔叶林、常绿针叶林和竹林为主。

2 研究方法

2.1 样线布设

将调查区域划分为风电场内和场外, 参照《生物多样性观测技术导则 鸟类》(中华人民共和国生态环境部 2014) 进行鸟类样线调查, 对风电场场址区及其周边 5 km 区域进行实地鸟类调查。根据风电场围界, 将界外定为风电场外, 根据不同生境, 共设置 9 条样线; 界内定为风电场内, 根据不同的海拔和实际地形情况, 共设置 7 条样线, 总计 16 条 (图 1)。风电场外的样线覆盖林地 (人工林、经济林)、灌木林 (灌丛、竹林、采伐迹地、草丛)、农田 (水田、旱田、果园)、居民区和水域 (水库、河流、溪流、池塘) 5 种生境类型, 风电场内的样线生境多为稀疏植被区。样线总长度 44.52 km, 每条样线平均长约 2.78 km, 样线单侧宽度 50 ~ 200 m (根据生境类型确定)。风电场内的样线沿风电机组周围设置, 调查过程

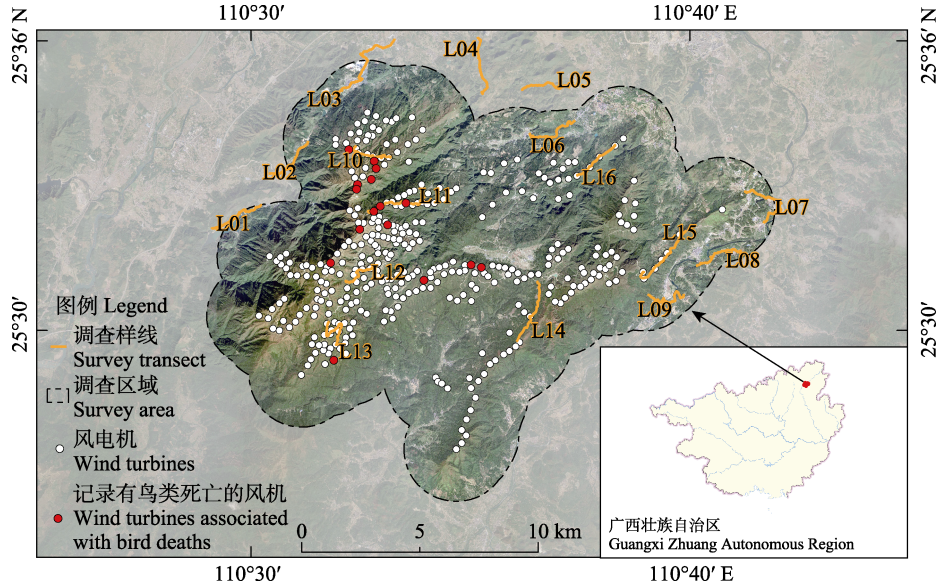


图 1 广西兴安风电场鸟类调查样线及风机位点示意图

Fig. 1 Bird survey line transects and wind turbine location schematic of Xing'an wind farm, Guangxi

基于自然资源部标准地图服务网站审图号为 GS (2019) 3333 号的标准地图制作, 底图边界无修改。L01 ~ L09 为风电场外样线, L10 ~ L16 为风电场内样线。

Based on the standard map of the Ministry of Natural Resources Standard Map Service website with the approval number of GS (2019) 3333, the boundary of the base map has not been modified. L01 - L09 are line transects outside the wind farm, L10 - L16 are line transects inside the wind farm.

中同时记录风机下的死亡鸟类物种及数量。

2.2 鸟类调查方法

2023 年的 4、5 和 9、10 月, 在兴安风电场及周围地区进行鸟类调查, 每条样线在春季 (3 月至 5 月) 和秋季 (9 月至 11 月) 均进行 2 次调查。调查日一般选择非恶劣天气条件且鸟类活动较为活跃的时段, 通常在上午的 7:00 ~ 11:00 时和下午的 15:00 ~ 18:00 时, 以 1.5 ~ 2.0 km/h 的速度步行前进。使用 Nikon 8 × 42 双筒望远镜观察样线左右各 100 m 范围内的鸟类, 为避免监测数据重复, 在调查过程中, 仅记录从前向后飞行的鸟类, 而未计数由后向前飞行的鸟类。记录沿线观察到或听到的鸟类种类、个体数量、栖息生境类型及飞行高度等, 大部分鸟类的飞行高度数据来源于肉眼观察结合专业工具 (如望远镜和高清摄像设备) 的实地观察估计。对于少数鸣叫鸟类, 其飞行高度

则参考廖峻涛等 (2018) 文章中记录的鸟类飞行高度数据。

2.3 鸟类碰撞事件数据来源

本研究的数据来源于实地调查和文献综述两部分。实地调查在广西兴安风电场进行, 在 2022 年 9 月、2023 年 4 月和 10 月以及 2024 年 4 月共对兴安风电场的 365 台风机进行 4 次鸟撞死亡调查。调查采用尸体搜索法, 一般风机下鸟类尸体寻检范围为 40 ~ 120 m (Wang et al. 2015)。本研究考虑到所选风电场为山地地区, 地形复杂, 风机平台周围为悬崖地带, 为确保搜索的可行性和安全性, 选择以风机基座为中心, 在距其 80 m 半径的预定区域内, 2 人以螺旋交替的方式对每台风机进行至少 5 min 的全方位搜索, 并记录风机编号、调查日期和时间、物种、羽毛以及每次发现动物尸体的地理坐标等。将在风机平台上发现的鸟类

尸体一概视为因撞击风机导致死亡。在调查过程中发现羽毛的羽根处有组织残留,或者若干片羽片粘连在一起的羽毛记为非自然脱落羽毛,而单独散落,羽根处光滑的羽毛记为自然脱落羽毛。将鸟类尸体及非自然脱落的羽毛记为鸟类撞击风机事件,将自然脱落羽毛记为鸟类活动痕迹。文献数据主要来自蔡澜涛等(2023)对广西资源县十万古田风电场、金紫山风电场和马家风电场的鸟类碰撞死亡记录。这些风电场与兴安风电场地理位置相近,地形条件和地貌特征以及鸟类物种组成相似,并且均位于“湘桂走廊”鸟类迁徙路线上,这些相似的特征使得资源县风电场鸟类碰撞死亡数据在验证模型准确性时具有重要的参考价值。通过整合这些风电场鸟类碰撞死亡事件的相关数据,并将其纳入鸟类死亡数量统计中,可以更全面地验证模型的准确性。

鸟类物种的鉴别主要依据《中国鸟类观察手册》(刘阳等 2021);鸟类的种类分类参考《中国鸟类分类与分布名录》(4 版,郑光美 2023);鸟类体重查阅《中国鸟类志》(赵正阶 1995, 2001)获得;鸟类体长参考《广西鸟类图鉴》(蒋爱伍等 2021)。

2.4 鸟类碰撞风险分析模型

根据实地调查,通过对鸟类的数量、体重、体长和飞行高度等因素的综合考虑,来评估其碰撞风险等级(丁振军等 2015),具体如下。

$I_{CI} = I_V R$, 式中, I_{CI} 为碰撞风险指数, I_V 为重要值, R 为风险系数。

鸟类的重要值 (I_V) 是根据 Rollfinke 等(1990)提出的相对数量、相对时间和相对空间 3 项指标的基础上,增加了相对重量和相对体长 2 个指标来计算的。具体公式为: $I_V = (N + T + I + W + L) / 5$, 式中, N 为相对数量成分, $N = 100$ (某种鸟的个体数/数量最多的鸟的个体数); T 为相对时间成分, $T = 100$ (某种鸟出现的调查次数/总调查次数); I 为相对空间成分, $I = 100$ (某种鸟出现的样线数/总样线数); W 为相对重量成分, $W = 100$ (某种鸟体

重/体重最重的鸟体重); L 为相对体长成分, $L = 100$ (某种鸟体长/体长最长的鸟体长)。

鸟类风险系数, $R = (H + D) / 2$, 其考虑纵向和横向 2 个维度(田静等 2022), 纵向以飞行高度 (H) 来体现, 考虑风机叶片的运行区域 (20 ~ 140 m) 以及产生的气流影响, 分为以下几个区间 (单位为 m): $0 \leq H < 10$ 、 $10 \leq H < 20$ 、 $20 \leq H < 140$ 、 $140 \leq H < 150$ 、 $150 \leq H < 160$ 、160 以上。这一分类基于 Noguera 等(2010)的研究,并结合本研究的风机参数进行调整,代表鸟类在不同高度范围内所面临的潜在风险(Battisti et al. 2020)。具体赋分如下:在 $0 \leq H < 10$ 和 $150 \leq H < 160$ 区间,鸟类不太可能与风机叶片发生碰撞且不易受到气流影响,总体风险较低,赋分为 2;在 $10 \leq H < 20$ 和 $140 \leq H < 150$ 区间,鸟类不会与叶片直接碰撞,但因较靠近叶片,受到气流影响较大,存在被吸引靠近风机的可能,风险适中,赋分为 3;在 $20 \leq H < 140$ 区间,鸟类极有可能与旋转叶片发生直接碰撞,风险最高,赋分为 4;在 160 m 以上的高度,鸟类不太可能受到叶片及其产生气流的影响,风险最低,赋分为 1。横向以风电场内 (D) 来体现,对风电场内赋值为 2,风电场外赋值为 1。

根据重要值 (I_V) 实际计算结果,将 $I_V \geq 35$ 的鸟类定为最重要的鸟类, $25 \leq I_V < 35$ 定为比较重要鸟类, $15 \leq I_V < 25$ 定为一般重要鸟类, $I_V < 15$ 定为较不重要鸟类。依据碰撞风险指数 (I_{CI}), 将 $I_{CI} \geq 75$ 定为极高风险鸟类, $55 \leq I_{CI} < 75$ 定为高风险鸟类, $35 \leq I_{CI} < 55$ 定为中风险鸟类, $I_{CI} < 35$ 定为低风险鸟类。

3 结果

3.1 鸟类重要值

在本次调查的 85 种鸟类中(附录 1), 留鸟 57 种, 冬候鸟 13 种, 夏候鸟 11 种, 旅鸟 4 种。白头鹎 (*Pycnonotus sinensis*) 的重要值 (I_V) 最大, 为 63.43。池鹭 (*Ardeola bacchus*, $I_V =$

45.93)、白鹭(*Egretta garzetta*, $I_V=44.98$)、喜鹊(*Pica serica*, $I_V=38.15$)、大嘴乌鸦(*Corvus macrorhynchos*, $I_V=45.53$)、大山雀(*Parus minor*, $I_V=37.31$)和白头鹎等 19 种鸟类为最重要的种类, 占研究区域鸟类种数的 22.3%; 黑卷尾(*Dicrurus macrocercus*)、长尾缝叶莺(*Orthotomus sutorius*)、家燕(*Hirundo rustica*)和金腰燕(*H. daurica*)等 26 种鸟类为比较重要的种类, 占研究区域鸟类种数的 30.6%; 中华鹧鸪(*Fringilla chinensis*)以及白腰雨燕(*Apus pacificus*)等 30 种鸟类为一般重要鸟类, 占研究区域鸟类种数的 35.3%; 方尾鹁鹑(*Culicicapa ceylonensis*)、褐柳莺(*Phylloscopus fuscatus*)和华南冠纹柳莺(*P. goodsoni*)等 10 种鸟类为较不重要鸟类, 占研究区域鸟类种数的 11.8%。

3.2 鸟撞风险评价

鸟撞风险最高的鸟类有 14 种, 主要为鹭科鸟类、部分猛禽以及雀形目的大嘴乌鸦、白头鹎和暗绿绣眼鸟(*Zosterops japonicus*)等, 占研究区域鸟类种数的 16.5%; 鸟撞风险较高的鸟类有 23 种, 分别是山斑鸠(*Streptopelia orientalis*)、珠颈斑鸠(*S. chinensis*)、白喉针尾雨燕(*Hirundapus caudacutus*)、黄斑苇鹀(*Ixobrychus sinensis*)和黑卷尾等, 占研究区域鸟类种数的 27.1%; 鸟撞风险一般的鸟类有 22 种, 分别为白腰雨燕、松雀鹰(*Accipiter virgatus*)、燕隼(*Falco subbuteo*)、发冠卷尾(*D. hottentottus*)和长尾缝叶莺等, 占研究区域鸟类种数的 25.9%; 鸟撞风险较低的鸟类有 26 种, 分别为中华鹧鸪、小鹁鹑(*Tachybaptus ruficollis*)、八声杜鹃(*Cacomantis merulinus*)、赤红山椒鸟(*Pericrocotus flammeus*)和红尾伯劳(*Lanius cristatus*)等, 占研究区域鸟类种数的 30.6%。在兴安风电场风险鸟类中, 白头鹎的相对数量最大, 为 100; 白头鹎的相对空间最高, 为 93.75; 蛇雕(*Spilornis cheela*)的相对体重最大, 为 100; 白鹭(*Ardea alba*)的相对体长最大, 为 100; 风险系数最高的是珠

颈斑鸠、白喉针尾雨燕、白腰雨燕、黄斑苇鹀、夜鹭(*Nycticorax nycticorax*)、池鹭、白鹭、凤头蜂鹰(*Pernis ptilorhynchus*)、蛇雕、普通鵟(*Buteo buteo*)、松鸦(*Garrulus glandarius*)和大嘴乌鸦, 均为 3; 风险指数最高的是凤头蜂鹰, 为 163.45 (附录 1)。

3.3 鸟撞事件

在针对兴安风电场的 4 次鸟撞实地调查中, 共发现 18 次鸟撞死亡事件, 鸟种隶属于 5 目 6 科 10 种。模型预测具有极高风险的 4 种鹭类、蛇雕和大嘴乌鸦在实地调查中共发生 13 次鸟撞死亡事件。其中, 池鹭和白鹭撞击次数最多, 分别为 4 次和 3 次。高风险的白喉针尾雨燕、黄斑苇鹀和红隼(*F. tinnunculus*)共发生过 4 次鸟撞死亡事件, 其中白喉针尾雨燕发生 2 次鸟撞。低风险的灰鹡鹑(*Motacilla cinerea*)发生过 1 次鸟撞死亡事件。此外, 本研究还收集了资源县 3 个风电场的文献数据, 共纳入 11 次鸟撞死亡事件, 结合实地调查和文献数据, 共记录 29 次鸟撞死亡事件, 鸟种隶属于 5 目 7 科 13 种 (表 1)。从鸟类碰撞死亡发生的次数看, 极高风险和高风险等级鸟类的鸟撞发生频次最高, 总计 27 次。

4 讨论

构建鸟类碰撞风险模型有助于估计风电场可能导致的鸟类死亡率, 并进一步评估风电场对区域鸟类种群的影响 (Madders et al. 2006)。我国越来越重视风电场对鸟类生物多样性的影响, 在《环境影响评价技术导则 生态影响》(HJ19—2022) (中华人民共和国生态环境部 2022) 中提到, 可以通过构建和应用模型来预测物种面临的潜在风险, 分析对物种分布的影响。本研究综合考虑鸟类的多方面特征及风电场方面的因素, 构建一个鸟类碰撞风险评估模型。基于近 3 年 (2022 至 2024 年) 的鸟撞死亡事件调查结果, 并结合相关文献所获取的数据, 利用该模型对鸟类碰撞风险进行评估, 为后续更深入的研究提供了基础。

表 1 广西兴安与资源县风电场鸟类碰撞死亡数量统计

Table 1 Statistics on the number of bird collision deaths at wind farms in Xing'an and Ziyuan County, Guangxi

物种 Species	鸟类碰撞时间 (年-月) 及次数 Date and number of bird collisions (Year-month)										风险等级 Risk level	
	2021-05	2021-07	2021-09	2021-10	2021-12	2022-04	2022-09	2023-04	2023-10	2024-04		总计 Total
白喉针尾雨燕 <i>Hirundapus caudacutus</i>				1			2				3	高风险 High risk
黄斑苇鹀 <i>Ixobrychus sinensis</i>							1				1	高风险 High risk
夜鹭 <i>Nycticorax nycticorax</i>									1		1	极高风险 Extremely high risk
池鹭 <i>Ardeola bacchus</i>	1			1	2		2		1	1	8	极高风险 Extremely high risk
白鹭 <i>Egretta garzetta</i>								2	1		3	极高风险 Extremely high risk
大白鹭 <i>Ardea alba</i>									1	1	2	极高风险 Extremely high risk
蛇雕 <i>Spilornis cheela</i>										1	1	极高风险 Extremely high risk
红隼 <i>Falco tinnunculus</i>								1			1	高风险 High risk
大嘴乌鸦 <i>Corvus macrorhynchos</i>			1	1			1			1	4	极高风险 Extremely high risk
发冠卷尾 <i>Dicrurus hottentottus</i>	1										1	中风险 Medium risk
灰鹊鸂 <i>Motacilla cinerea</i>									1		1	低风险 Low risk
白鹊鸂 <i>M. alba</i>		1				1					2	高风险 High risk
树鹀 <i>Anthus hodgsoni</i>					1						1	高风险 High risk
总计 Total	2	1	1	3	3	1	6	3	4	5	29	

2021 年 5 月至 2022 年 4 月数据来自蔡澜涛等 (2023) 在资源县风电场的鸟类碰撞研究; 2022 年 9 月至 2024 年 4 月数据来源于本项目实地调查。

Data from May 2021 to April 2022 are from the bird collision study of Cai et al. (2023) in the wind farm in Ziyuan County; data from September 2022 to April 2024 were from field surveys conducted as part of this project.

根据鸟类形态特征和飞行行为的差异, 不同鸟类在风电场中的碰撞风险也有所不同。体重和体长被认为是影响鸟类碰撞风险的重要因素 (Janss 2000)。在长距离飞行时, 高翼载荷 (鸟类体重与翼面积的比率) 的鸟类物种更依赖上升气流来获得高度和飞翔, 高翼载荷与飞行中的低机动性有关 (de Lucas et al. 2008)。体型较大的鸟类由于飞行惯性较大和灵活性较低, 难以快速逃离遇到的物体, 从而更可能与风机等结构发生碰撞。极高风险鸟类, 如鹭类和猛禽等, 通常具有较大的体型和较差的灵活

性。此外, 这些鸟类的飞行高度往往接近风机叶片的转动区域, 尤其是猛禽在空中盘旋或俯冲捕食时, 常常进入风机叶片的扫掠范围, 从而增加碰撞的风险。de Lucas 等 (2008) 的研究发现, 在相同地点, 大型猛禽秃鹫 (*Aegypius monachus*) 比短趾雕 (*Circaetus gallicus*) 发生更多的碰撞。秃鹫具有较高的翼载荷, 需要更多地依赖上升气流来飞翔, 且由于飞行机动性较低, 遇到障碍物时难以迅速避开, 碰撞风险较高。同样, Barrios 等 (2004) 在西班牙的风电场研究发现, 有 68 只鸟类与风机发生碰撞死

亡，其中大部分（51 只）是中型或大型鸟类，其余 17 只为较小型鸟类。

不同鸟类与风机的碰撞风险与其飞行高度和在风电场周边的活动频率密切相关（Krijgsveld et al. 2009）。高风险鸟类，如家燕、金腰燕和白喉针尾雨燕等，在迁徙或觅食过程中可能频繁穿越风电场，其飞行高度与风机叶片扫掠范围较接近；白头鹎和白鹡鸰等鸟类经常出现在风电场附近，其较高的活动频率也增加了与风机发生撞击的风险。相比之下，低风险鸟类，如中华鹡鸰，通常在灌木丛或地面生境中活动；白腰文鸟（*Lonchura striata*）和斑文鸟（*L. punctulata*）主要在农田附近活动和觅食，这些鸟类的飞行高度较低、甚至不飞行，且远离风机区域，在调查中较少出现，活动频率和生境利用率不高，碰撞的风险相对较小。根据鸟撞死亡事件的调查结果，候鸟比留鸟更可能受到影响。这可能是由于候鸟仅在迁徙季节经过风电场区域，对当地环境不熟悉，容易在迁徙过程中接近风机，从而发生碰撞事故。鸟类与风机碰撞受到多种因素的影响，因此在研究过程中需要综合考虑鸟类的不同特征以及与风机相关的因素，以全面评估鸟类的碰撞风险。为此本研究引入重要值这一综合评估指标，是用来表示某个物种在群落中的地位与作用的综合数量指标（Curtis et al. 1951），在评估风电场风险鸟类方面具有重要的参考价值。

Rollfinke 等（1990）首次提出利用相对数量、相对时间和相对空间分布 3 个因素来计算重要值。栾晓峰等（2004）在此基础上增加相对重量成分，形成以相对数量成分、相对空间成分、相对时间成分和相对重量成分 4 个指标的鸟类相对重要值，以考虑鸟类体重对鸟撞事件的影响，并对重要值计算方法进行改进。在现有的研究中，这两种重要值的计算方法被广泛使用，但它们没有考虑到鸟类飞行高度对鸟撞事件的影响。罗旭等（2011）考虑了飞行高度，但未考虑相对空间成分，而王丽君等（2010）

虽然考虑了飞行高度，但并未评估鸟类体重对鸟撞事件的影响。与此前的研究相比，本研究在参考丁振军等（2015）的方法基础上，对其重要值和风险系数进行改进，增加鸟类的相对体长和相对重量指标。此外，考虑到鸟类在叶片扫掠高度 20~140 m 范围内碰撞风险最高，因此对不同飞行高度的鸟类进行相应的风险评分。同时，针对风电场内外的不同碰撞风险，本研究对这两种情况下的鸟类进行区分处理，以便更全面地评估鸟类碰撞风险。

尽管本研究的鸟类碰撞风险评估模型综合考虑了多个关键因子，可作为评估鸟类与风机碰撞风险的有用工具，但其仍存在一些局限性。某些情况下，模型的评估结果与实际情况并不完全一致。例如，本文中评估为低风险的灰鹡鸰实际上却发生了碰撞。这可能是由于模型在处理动态环境因素和鸟类行为复杂性时的局限性所致。研究表明，鸟类的碰撞风险不仅受风电场的布局影响（Miguel et al. 2012），还与季节、物候、景观类型和天气等因素有关（Marques et al. 2014）。风速和风向等动态环境因素也会影响鸟类的飞行高度，强烈的尾风和侧风会增加碰撞风险，不可预测的阵风可能会突然改变鸟的位置（Barrios et al. 2004, Hoover et al. 2005）。这种环境因素的变化难以在静态模型中完全反映，从而导致评估结果与实际情况不一致。此外，不同鸟类个体对风电场环境的反应也有所不同（朱永可等 2016）。鸟类在飞行时会根据其体型、飞行方式和行为习惯做出不同的反应，体型较大、灵活性较低的鸟类碰撞风险相对较高（de Lucas et al. 2008, Bernardino et al. 2018）。这些个体差异增加了模型预测的复杂性和不确定性。因此，尽管陆上风电场鸟类碰撞风险评估模型取得重要进展，但未来仍需进一步改进和优化，以应对复杂的环境和鸟类行为变化。

未来的研究应重点关注以下几个方面：首先，目前的模型大多基于静态数据，未来应结合季节变化、气象条件（如风速、风向、降雨

量等)以及风机运转状态等动态环境因素,通过引入动态环境因素对模型进行实时更新和调整。其次,需加强高精度鸟类行为数据的采集,利用先进的追踪技术如GPS,精确记录鸟类的飞行轨迹和行为模式,并将这些数据整合到模型中,以更准确地模拟鸟类的活动规律和碰撞风险;并结合先进的遥感技术和地理信息系统,精细化描述风电场及其周边环境的地貌特征和植被覆盖情况,以更准确地分析环境因素对鸟类活动的影响。此外,应用机器学习和人工智能技术,分析大量鸟类活动数据和环境变量,识别出潜在的高风险区域和时间段,提高模型的自适应能力和预测精度。综合利用各领域的研究成果和技术手段,共同优化评估模型,提升其综合性和实用性。最后,应建立长期监测和反馈机制,由于体型较小的鸟类在死亡后难以被发现,可能导致数据采集不足,因此未来应持续收集风电场鸟撞事件和鸟类活动数据,不断修正和优化模型,确保其随时间推移保持高效和准确。建议避免在鸟类活动频繁的地区,尤其是栖息有国家重点保护鸟类的区域内建设风机,以减少对敏感鸟类的影响。未来研究通过改进这些措施,评估模型将变得更加精准和全面。

参 考 文 献

- Band W, Madders M, Whitfield D. 2007. Developing field and analytical methods to assess avian collision risk at wind farms // de Lucas M, Janss G, Ferrer M. *Birds and Wind Farms: Risk Assessment and Mitigation*. Madrid: Quercus/Libreria Linneo, 259–275.
- Barrios L, Rodríguez A. 2004. Behavioural and environmental correlates of soaring-bird mortality at on-shore wind turbines. *Journal of Applied Ecology*, 41(1): 72–81.
- Battisti C, Ferri V, Luiselli L, et al. 2020. Introducing ecological uncertainty in risk sensitivity indices: the case of wind farm impact on birds. *Zoology and Ecology*, 30(1): 11–16.
- Bernardino J, Bevanger K, Barrientos R, et al. 2018. Bird collisions with power lines: state of the art and priority areas for research. *Biological Conservation*, 222(6): 1–13.
- Cabrera-Cruz S A, Cervantes-Pasqualli J, Franquesa-Soler M, et al. 2020. Estimates of aerial vertebrate mortality at wind farms in a bird migration corridor and bat diversity hotspot. *Global Ecology and Conservation*, 22(2): e00966.
- Choi D Y, Wittig T W, Kluever B M. 2020. An evaluation of bird and bat mortality at wind turbines in the Northeastern United States. *PLoS One*, 15(8): e0238034.
- Curtis J T, McIntosh R P. 1951. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology*, 32(3): 476–496.
- de Lucas M, Janss G F E, Whitfield D P, et al. 2008. Collision fatality of raptors in wind farms does not depend on raptor abundance. *Journal of Applied Ecology*, 45(6): 1695–1703.
- Dooling R. 2002. *Avian Hearing and the Avoidance of Wind Turbines*. Colorado: National Renewable Energy Laboratory.
- Furness R W, Wade H M, Masden E A. 2013. Assessing vulnerability of marine bird populations to offshore wind farms. *Journal of Environmental Management*, 119(6): 56–66.
- Gómez-Catasús J, Garza V, Traba J. 2018. Wind farms affect the occurrence, abundance and population trends of small passerine birds: the case of the Dupont's lark. *Journal of Applied Ecology*, 55(4): 2033–2042.
- Hoover S L, Morrison M L. 2005. Behavior of red-tailed Hawks in a wind turbine development. *The Journal of Wildlife Management*, 69(1): 150–159.
- Janss G F E. 2000. Avian mortality from power lines: a morphologic approach of a species-specific mortality. *Biological Conservation*, 95(3): 353–359.
- Krijgsveld K L, Akershoek K, Schenk F, et al. 2009. Collision risk of birds with modern large wind turbines. *Ardea*, 97(3): 357–366.
- Loss S R, Will T, Marra P P. 2013. Estimates of bird collision mortality at wind facilities in the contiguous United States. *Biological Conservation*, 168(12): 201–209.
- Madders M, Whitfield D P. 2006. Upland raptors and the assessment of wind farm impacts. *Ibis*, 148(supple 1): 43–56.
- Marques A T, Batalha H, Rodrigues S, et al. 2014. Understanding bird collisions at wind farms: an updated review on the causes and possible mitigation strategies. *Biological Conservation*,

- 179(11): 40–52.
- Marques A T, Santos C D, Hanssen F, et al. 2020. Wind turbines cause functional habitat loss for migratory soaring birds. *Journal of Animal Ecology*, 89(1): 93–103.
- Miguel F, Manuela D L, Guyonne F E, et al. 2012. Weak relationship between risk assessment studies and recorded mortality in wind farms. *Journal of Applied Ecology*, 49(1): 38–46.
- Noguera J C, Ibarra I P, Mínguez E. 2010. Impact of terrestrial wind farms on diurnal raptors: developing a spatial vulnerability index and potential vulnerability maps. *Ardeola*, 57(1): 41–53.
- Pearce-Higgins J W, Stephen L, Langston R H W, et al. 2009. The distribution of breeding birds around upland wind farms. *Journal of Applied Ecology*, 46(6): 1323–1331.
- Rollfinke B F, Yahner R H. 1990. Community structure and composition of breeding and wintering birds in a wastewater-irrigated oak forest. *The Journal of Wildlife Management*, 54(3): 493–500.
- Schaub T, Klaassen R H G, Bouten W, et al. 2020. Collision risk of Montagu's Harriers *Circus pygargus* with wind turbines derived from high-resolution GPS tracking. *Ibis*, 162(2): 520–534.
- Schippers P, Buij R, Schotman A, et al. 2020. Mortality limits used in wind energy impact assessment underestimate impacts of wind farms on bird populations. *Ecology and Evolution*, 10(13): 6274–6287.
- Smallwood K S, Bell D A. 2020. Effects of wind turbine curtailment on bird and bat fatalities. *The Journal of Wildlife Management*, 84(4): 685–696.
- Tucker V A. 1996. A mathematical model of bird collisions with wind turbine rotors. *Journal of Solar Energy Engineering*, 118(4): 253–262.
- Villegas-Patracá R, Cabrera-Cruz S A, Herrera-Alsina L. 2014. Soaring migratory birds avoid wind farm in the Isthmus of Tehuantepec, southern Mexico. *PLoS One*, 9(3): e92462.
- Wang S F, Wang S C, Smith P. 2015. Ecological impacts of wind farms on birds: questions, hypotheses, and research needs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44(4): 599–607.
- Wehrmann B. 2017. From survey to harvest: How to build a wind farm in Germany. [EB/OL]. (2017-06-08) [2024-06-12]. <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/survey-harvest-how-build-wind-farm-germany>.
- 蔡澜涛, 庾太林, 阮韵, 等. 2023. 桂北山地风电场的鸟类撞击风机现象研究. *安徽大学学报: 自然科学版*, 47(5): 100–108.
- 崔怀峰, 杨茜, 张淑霞. 2008. 鸟类与风电机组相撞的影响因素分析及保护措施. *环境科学导刊*, 27(5): 52–56, 60.
- 丁振军, 李东来, 万冬梅, 等. 2015. 沈阳桃仙国际机场鸟类多样性及鸟撞防范. *生态学杂志*, 34(9): 2561–2567.
- 国家能源局. 2016. 风电场项目环境影响评价技术规范 NB/T31087-2016. 北京: 中国环境科学出版社.
- 国家能源局. 2024. 国家能源局举行新闻发布会发布一季度可再生能源并网运行情况. [EB/OL]. (2024-04-29) [2024-06-12]. https://www.nea.gov.cn/2024-04/29/c_1212357856.htm.
- 蒋爱伍, 覃春, 黄立春, 等. 2021. 广西鸟类图鉴. 南宁: 广西科学技术出版社.
- 李方园, 陈智清, 赵龙, 等. 2020. 风电建设项目生态环境影响防控分析. *能源与节能*, 25(12): 67–68, 105.
- 廖峻涛, 吕鸿, 张峰, 等. 2018. 昆明长水国际机场飞行区鸟类飞行高度及鸟撞风险评估. *云南大学学报: 自然科学版*, 40(1): 192–200.
- 刘阳, 陈水华. 2021. 中国鸟类观察手册. 长沙: 湖南科学技术出版社.
- 栾晓峰, 胡忠军, 徐宏发. 2004. 上海农耕地鸟类群落特征及与几种生境因子的关系. *动物学研究*, 25(1): 20–26.
- 罗旭, 梁丹, 马国强, 等. 2011. 云南大理机场鸟类调查及鸟撞防治对策. *西南林业大学学报*, 31(6): 49–55.
- 苏志刚, 关旭, 郝敬堂. 2023. 基于量子激光雷达的机场鸟类目标威胁评估. *电光与控制*, 30(4): 50–55.
- 田静, 洪磊, 王莹莹, 等. 2022. 云南大理机场鸟类多样性及鸟撞防范. *西部林业科学*, 51(3): 32–39.
- 王丽君, 周立志, 万政云, 等. 2010. 骆岗机场鸟类多样性及鸟撞风险分析. *野生动物*, 31(3): 127–130.
- 王维, 石文郁. 2022. 基于 BP 神经网络的机场次日鸟击风险预测方法. *安全与环境学报*, 22(6): 3021–3027.
- 王志高, 周放, 李相林, 等. 2007. 机场鸟撞防制中的鸟类风险评估. *生态科学*, 26(1): 69–74.
- 王志高, 周放, 张勇, 等. 2008. 南宁吴圩国际机场春季鸟类鸟撞风险分析. *四川动物*, 27(4): 585–589.
- 张立博, 李春荣, 陈国远, 等. 2022. 江苏盐城滨海地区风机对鸟

类的影响. 生物多样性, 30(11): 159-166.

赵吴鹏. 2016. 风电工程环境影响评价及应对措施. 能源研究与管
理, 8(3): 10-13.

赵正阶. 1995. 中国鸟类志: 上卷 非雀形目. 长春: 吉林科学技
术出版社.

赵正阶. 2001. 中国鸟类志: 下卷 雀形目. 长春: 吉林科学技
术出版社.

郑光美. 2023. 中国鸟类分类与分布名录. 4 版. 北京: 科学出版社.

中华人民共和国生态环境部. 2014. 生物多样性观测技术导则 鸟
类 HJ710.4-2014. 北京: 中国环境科学出版社.

中华人民共和国生态环境部. 2022. 环境影响评价技术导则 生态
影响 HJ19—2022. 北京: 中国环境科学出版社.

朱永可, 李阳端, 楼瑛强, 等. 2016. 风力发电对鸟类的影响以及
应对措施. 动物学杂志, 51(4): 682-691.

附录 1 广西兴安风电场鸟类碰撞风险评估指标及风险值

Appendix 1 Risk assessment indicators and values for bird collisions at Xing'an wind farm in Guangxi

物种 Species	居留型 Residential types	相对数量 Relative quantity	相对 时间 Relative time	相对空间 Relative space	相对体重 Relative weight	相对体长 Relative body length	重要值 Important value	风险系数 Risk coefficient	碰撞风险 指数 Collision risk index
I 鸡形目 GALLIFORMES									
(1) 雉科 Phasianidae									
1. 中华鹧鸪 <i>Francolinus pintadeanus</i>	R	0.18	50	6.25	23.0	33	22.49	1.50	33.73
2. 灰胸竹鸡 <i>Bambusicola thoracica</i>	R	1.25	50	25.00	21.5	36	26.75	2.00	53.50
II 鸚鵡目 PODICIPEDIFORMES									
(2) 鸚鵡科 Podicipedidae									
3. 小鸚鵡 <i>Tachybaptus ruficollis</i>	R	0.72	50	6.25	14.2	29	20.03	1.50	30.05
III 鸽形目 COLUMBIFORMES									
(3) 鸠鸽科 Columbidae									
4. 山斑鸠 <i>Streptopelia orientalis</i>	R	1.79	100	25.00	17.0	35	35.76	2.00	71.52
5. 珠颈斑鸠 <i>S. chinensis</i>	R	1.43	50	18.75	11.3	33	22.90	3.00	68.69
IV 夜鹰目 CAPRIMULGIFORME									
(4) 雨燕科 Apodidae									
6. 白喉针尾雨燕 <i>Hirundapus caudacutus</i>	P	7.89	50	12.50	9.1	22	20.30	3.00	60.89
7. 白腰雨燕 <i>Apus pacificus</i>	S	0.18	50	6.25	3.1	20	15.91	3.00	47.72
V 鸛形目 CUCULIFORMES									
(5) 杜鹃科 Cuculidae									
8. 褐翅鸛 <i>Centropus sinensis</i>	R	1.43	50	6.25	21.1	54	26.56	1.50	39.83
9. 八声鸛 <i>Cacomantis merulinus</i>	S	0.18	50	6.25	2.1	25	16.71	2.00	33.41
VI 鸛形目 PELECANIFORMES									
(6) 鸛科 Ardeidae									
10. 黄斑苇鸛 <i>Ixobrychus sinensis</i>	S	0.36	50	6.25	6.2	35	19.56	3.00	58.69

续附录 1

物种 Species	居留型 Residential types	相对数量 Relative quantity	相对 时间 Relative time	相对空间 Relative space	相对体重 Relative weight	相对体长 Relative body length	重要值 Important value	风险系数 Risk coefficient	碰撞风险 指数 Collision risk index
11. 夜鹭 <i>Nycticorax nycticorax</i>	S	4.30	50	6.25	41.8	65	33.47	3.00	100.41
12. 池鹭 <i>Ardeola bacchus</i>	S	10.75	100	50.00	17.9	51	45.93	3.00	137.79
13. 大白鹭 <i>Ardea alba</i>	W	1.43	50	25.00	63.0	100	47.89	3.00	143.66
14. 白鹭 <i>Egretta garzetta</i>	W	4.30	100	25.00	30.6	65	44.98	3.00	134.94
VII 鹰形目 ACCIPITRIFORMES									
(7) 鹰科 Accipitridae									
15. 黑翅鸢 <i>Elanus caeruleus</i>	R	0.18	50	6.25	63.2	36	31.13	2.00	62.25
16. 凤头蜂鹰 <i>Pernis ptilorhynchus</i>	P	0.72	100	12.50	98.2	61	54.48	3.00	163.45
17. 蛇雕 <i>Spilornis cheela</i>	W	0.18	50	6.25	100.0	47	40.69	3.00	122.06
18. 凤头鹰 <i>Accipiter trivirgatus</i>	R	0.18	50	6.25	29.5	49	26.99	2.50	67.47
19. 松雀鹰 <i>A. virgatus</i>	R	0.18	50	6.25	12.8	36	21.05	2.50	52.62
20. 普通鵟 <i>Buteo buteo</i>	W	0.36	100	12.50	58.7	60	46.31	3.00	138.94
VIII 鸮形目 STRIGIFORMES									
(8) 鸮科 Strigidae									
21. 领鸮 <i>Glaucidium brodiei</i>	R	0.36	50	6.25	3.6	16	15.24	2.50	38.11
22. 斑头鸮 <i>G. cuculoides</i>	R	0.18	50	6.25	13.5	18	17.59	2.00	35.17
IX 佛法僧目 CORACIIFORMES									
(9) 翠鸟科 Alcedinidae									
23. 蓝翡翠 <i>Charadrius dubius</i>	P	0.18	50	6.25	6.2	29	18.33	1.50	27.49
24. 普通翠鸟 <i>Alcedo atthis</i>	R	0.54	100	12.50	4.0	17	26.81	1.50	40.21
X 啄木鸟目 PICIFORMES									
(10) 拟啄木鸟科 Capitonidae									
25. 大拟啄木鸟 <i>Psilopogon virens</i>	R	0.18	50	6.25	13.1	38	21.51	1.50	32.26
XI 隼形目 FALCONIFORMES									
(11) 隼科 Falconidae									
26. 红隼 <i>Falco tinnunculus</i>	R	0.18	50	6.25	16.3	40	22.55	2.50	56.37
27. 燕隼 <i>F. subbuteo</i>	S	0.18	50	6.25	14.0	34	20.89	2.50	52.22
XII 雀形目 PASSERIFORMES									
(12) 山椒鸟科 Campephagidae									
28. 赤红山椒鸟 <i>Pericrocotus flammeus</i>	R	0.18	50	6.25	2.0	18	15.29	2.00	30.57
(13) 卷尾科 Dicruridae									
29. 黑卷尾 <i>Dicrurus macrocercus</i>	S	1.43	100	12.50	3.6	33	30.11	2.00	60.21
30. 发冠卷尾 <i>D. hottentottus</i>	S	0.36	50	6.25	6.2	35	19.56	2.00	39.12
(14) 伯劳科 Laniidae									
31. 红尾伯劳 <i>Lanius cristatus</i>	W	0.36	50	6.25	2.3	22	16.18	1.50	24.27

续附录 1

物种 Species	居留型 Residential types	相对数量 Relative quantity	相对 时间 Relative time	相对空间 Relative space	相对体重 Relative weight	相对体长 Relative body length	重要值 Important value	风险系数 Risk coefficient	碰撞风险 指数 Collision risk index
32. 棕背伯劳 <i>L. schach</i>	R	3.76	100	43.75	4.8	27	35.86	1.50	53.79
(15) 鸚科 Corvidae									
33. 松鸦 <i>Garrulus glandarius</i>	R	2.15	50	25.00	10.9	33	24.21	3.00	72.63
34. 红嘴蓝鹊 <i>Urocissa erythrorhyncha</i>	R	2.15	100	12.5	12.4	60	37.41	2.00	74.82
35. 灰树鹊 <i>Dendrocitta formosae</i>	R	1.25	50	25.00	6.8	36	23.81	2.50	59.53
36. 喜鹊 <i>Pica serica</i>	R	1.25	100	25.00	15.5	49	38.15	2.00	76.30
37. 大嘴乌鸦 <i>Corvus macrorhynchos</i>	R	2.69	100	31.25	36.7	57	45.53	3.00	136.58
(16) 玉鶲科 Stenostiridae									
38. 方尾鶲 <i>Culicicapa ceylonensis</i>	R	0.18	50	6.25	0.6	14	14.21	2.00	28.41
(17) 山雀科 Paridae									
39. 大山雀 <i>Parus cinereus</i>	R	8.06	100	62.50	1.0	15	37.31	2.00	74.62
(18) 扇尾莺科 Cisticolidae									
40. 黄腹山鹪莺 <i>Prinia flaviventris</i>	R	1.61	100	12.50	0.5	14	25.72	1.50	38.58
41. 纯色山鹪莺 <i>P. inornata</i>	R	1.61	100	18.75	0.8	16	27.43	1.50	41.15
42. 长尾缝叶莺 <i>Orthotomus sutorius</i>	R	6.45	100	37.50	0.6	13	31.51	1.50	47.27
(19) 燕科 Hirundinidae									
43. 家燕 <i>Hirundo rustica</i>	S	7.89	100	31.25	1.2	22	32.47	2.00	64.94
44. 金腰燕 <i>H. daurica</i>	S	12.72	100	18.75	1.6	20	30.61	2.00	61.23
(20) 鹎科 Pycnonotidae									
45. 领雀嘴鹎 <i>Spizixos semitorques</i>	R	7.53	100	56.25	2.9	25	38.34	2.00	76.67
46. 红耳鹎 <i>Pycnonotus jocosus</i>	R	3.05	100	12.50	2.4	22	27.99	2.50	69.98
47. 黄臀鹎 <i>P. xanthorrhous</i>	R	0.18	50	6.25	2.4	22	16.17	2.00	32.33
48. 白头鹎 <i>P. sinensis</i>	R	100.00	100	93.75	2.4	21	63.43	2.00	126.86
49. 绿翅短脚鹎 <i>Hypsipetes mccllellandii</i>	R	0.18	50	6.25	2.5	26	16.99	2.50	42.47
50. 栗背短脚鹎 <i>H. castanonotus</i>	R	12.72	100	50.00	2.7	23	37.68	2.00	75.37
(21) 柳莺科 Phylloscopidae									
51. 褐柳莺 <i>Phylloscopus fuscatus</i>	W	0.54	50	6.25	0.6	13	14.08	1.50	21.12
52. 黄眉柳莺 <i>P. inornatus</i>	W	1.61	100	18.75	0.5	12	26.57	1.50	39.86
53. 华南冠纹柳莺 <i>P. goodsoni</i>	S	0.90	50	6.25	0.6	12	13.95	2.00	27.90
(22) 树莺科 Cettiidae									
54. 强脚树莺 <i>Horornis fortipes</i>	R	1.25	50	12.50	0.7	11	15.09	2.00	30.18
(23) 长尾山雀科 Aegithalidae									

续附录 1

物种 Species	居留型 Residential types	相对数量 Relative quantity	相对 时间 Relative time	相对空间 Relative space	相对体重 Relative weight	相对体长 Relative body length	重要值 Important value	风险系数 Risk coefficient	碰撞风险 指数 Collision risk index
55. 红头长尾山雀 <i>Aegithalos concinnus</i>	R	9.32	100	18.75	0.4	11	27.89	1.50	41.84
(24) 鸦雀科 Paradoxornithidae									
56. 棕头鸦雀 <i>Sinosuthora webbiana</i>	R	7.53	100	50.00	0.8	13	34.27	2.00	68.53
(25) 绣眼鸟科 Zosteropidae									
57. 暗绿绣眼鸟 <i>Zosterops japonicus</i>	R	39.78	100	56.25	0.8	12	41.77	2.00	83.53
(26) 林鹛科 Timaliidae									
58. 华南斑胸钩嘴鹛 <i>Eeythrogenys swinhoei</i>	R	1.61	100	12.50	1.6	26	28.34	1.50	42.51
59. 棕颈钩嘴鹛 <i>Pomatorhinus ruficollis</i>	R	0.18	50	6.25	1.8	18	15.25	2.00	30.49
60. 红头穗鹛 <i>Cyanoderma ruficeps</i>	R	12.90	100	68.75	0.7	13	39.07	2.00	78.14
(27) 雀鹛科 Pellorneidae									
61. 灰眶雀鹛 <i>Alcippe morrisonia</i>	R	2.33	100	12.50	1.2	15	26.21	2.00	52.41
(28) 噪鹛科 Leiothrichidae									
62. 画眉 <i>Garrulax canorus</i>	R	3.41	100	25.00	4.2	25	31.52	2.00	63.04
63. 黑脸噪鹛 <i>G. perspicillatus</i>	R	0.54	50	6.25	8.3	33	19.62	2.00	39.24
64. 白颊噪鹛 <i>G. samio</i>	R	5.02	100	31.25	4.6	27	33.57	2.00	67.15
65. 红嘴相思鸟 <i>Leiothrix lutea</i>	R	0.90	50	6.25	1.6	16	14.95	2.00	29.90
(29) 椋鸟科 Sturnidae									
66. 八哥 <i>Acridotheres cristatellus</i>	R	1.79	100	12.50	7.7	28	30.00	1.50	45.00
(30) 鸫科 Turdidae									
67. 乌鸫 <i>Turdus mandarinus</i>	R	4.30	100	31.25	6.6	32	34.83	2.00	69.66
(31) 鹟科 Muscicapidae									
68. 红尾歌鸲 <i>Larvivora sibilans</i>	P	0.36	50	6.25	1.1	14	14.34	2.00	28.68
69. 鹊鸲 <i>Copsychus saularis</i>	R	2.33	100	12.50	2.8	22	27.93	1.50	41.89
70. 北红尾鸲 <i>Phoenicurus auroreus</i>	W	0.72	50	18.75	1.2	16	17.33	1.50	26.00
71. 红尾水鸲 <i>Rhyacornis fuliginosa</i>	R	1.97	50	6.25	1.5	15	14.94	1.50	22.42
72. 灰背燕尾 <i>Enicurus schistaceus</i>	R	0.18	50	6.25	2.3	25	16.75	2.00	33.49
73. 东亚石鹟 <i>Saxicola stejnegeri</i>	W	2.69	100	18.75	1.2	15	27.53	2.00	55.06
74. 北灰鹟 <i>Muscicapa dauurica</i>	W	0.18	50	6.25	0.8	14	14.25	1.50	21.37
(32) 啄花鸟科 Dicaeidae									
75. 红胸啄花鸟 <i>Dicaeum ignipectus</i>	R	0.18	50	6.25	0.5	8	12.99	1.50	19.48

续附录 1

物种 Species	居留型 Residential types	相对数量 Relative quantity	相对 时间 Relative time	相对空间 Relative space	相对体重 Relative weight	相对体长 Relative body length	重要值 Important value	风险系数 Risk coefficient	碰撞风险 指数 Collision risk index
(33)花蜜鸟科 Nectariniidae									
76. 叉尾太阳鸟 <i>Aethopyga christinae</i>	R	1.43	50	12.50	0.5	11	15.09	2.00	30.17
(34)梅花雀科 Estrildidae									
77. 白腰文鸟 <i>Lonchura striata</i>	R	2.15	50	6.25	0.8	12	14.24	1.50	21.36
78. 斑文鸟 <i>L. punctulata</i>	R	1.25	50	12.50	2.0	11	15.35	1.50	23.03
(35)雀科 Passeridae									
79. 麻雀 <i>Passer montanus</i>	R	27.06	100	37.50	1.8	15	36.27	2.00	72.54
(36)鹡鸰科 Motacillidae									
80. 灰鹡鸰 <i>Motacilla cinerea</i>	R	0.90	50	6.25	1.2	21	15.87	1.50	23.81
81. 白鹡鸰 <i>M. alba</i>	R	18.10	100	56.25	1.5	22	39.57	1.50	59.36
82. 田鸫 <i>Anthus richardi</i>	W	0.90	50	6.25	2.1	20	15.85	2.00	31.70
83. 树鸫 <i>A. hodgsoni</i>	W	3.41	100	31.25	1.5	16	30.43	2.00	60.86
(37)燕雀科 Fringillidae									
84. 金翅雀 <i>Carduelis sinica</i>	R	6.63	100	25.00	1.3	14	29.39	1.50	44.08
(38)鹀科 Emberizidae									
85. 灰头鹀 <i>Emberiza spodocephala</i>	W	1.08	50	6.25	1.3	15	14.73	2.00	29.45

居留型: S. 夏候鸟; W. 冬候鸟; P. 旅鸟; R. 留鸟。

Resident type: S. Summer migratory birds; W. Winter migratory birds; P. Migratory birds; R. Resident birds.

勘误

对《动物学杂志》2025年60卷第2期第182页至189页发表的论文《基于卫星跟踪钳嘴鹀空间运动规律初报》进行勘误。该文中第182页,第一单位“西南林业大学昆明林学院”改为“西南林业大学林学院”。

本刊网站及知网的电子版文章已更正为正确版本。

特此告知并诚挚地向读者致歉。

本刊编辑部
2025年6月9日