

# 风力发电对鸟类的影响以及应对措施

朱永可<sup>①</sup> 李阳端<sup>①#</sup> 楼瑛强<sup>②③</sup> 周江<sup>①\*</sup> 孙悦华<sup>②</sup>

① 贵州师范大学生命科学学院 贵阳 550001; ② 中国科学院动物研究所 北京 100101; ③ 中国科学院大学 北京 100049

**摘要:** 风能是一种清洁而稳定的可再生能源, 风力发电可以减少全球温室气体排放, 在减缓气候变化中发挥重要作用。然而, 风电场的建设会对自然保护、生态环境和动物生存会造成一定的负面影响, 其中对鸟类的影响尤为突出。本文通过查阅欧美等国风电场对鸟类及野生动物影响的研究文献, 总结了风电场对鸟类的生存、迁徙和栖息地环境的影响, 以及导致鸟类与风电塔相撞的影响因素, 并提出了相关防范措施和方法。近十年中国风力发电事业发展迅猛, 已经成为世界上风电装机容量最大的国家, 但中国在评估风电场发展对野生动物影响方面的研究工作非常匮乏。目前, 我国应借鉴国外相关研究管理经验, 通过长期的连续观测, 认真评估国内正在运行和在建风电场对于鸟类和其他野生动物的影响及潜在威胁。同时, 应重视鸟类迁徙的基础研究, 为新建风电场选址提供科学方案, 保证风力发电与生态环境保护之间的和谐发展。

**关键词:** 风力发电; 鸟撞涡轮机; 鸟类迁徙; 栖息地破坏; 保护措施

**中图分类号:** Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2016) 04-682-10

## Impact of Wind Farm on Birds and the Mitigation Strategies

ZHU Yong-Ke<sup>①</sup> LI Yang-Duan<sup>①#</sup> LOU Ying-Qiang<sup>②③</sup> ZHOU Jiang<sup>①\*</sup> SUN Yue-Hua<sup>②</sup>

① *School of Life Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550001*; ② *Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101*; ③ *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*

**Abstract:** As a clean and stable renewable energy, wind power could reduce global greenhouse gas emissions, and play an important role in mitigating climate change. However, wind power construction cause some negative effects on nature conservation, environment and survival of wild animals, especially for the avian species. Wind energy resources in China are very rich, in recent ten years, China made a rapid development on wind power construction. In 2014, with newly installed capacity of 23.35 million kW, China's total installed capacity of wind power reached to 114.8 million kW, being the largest in the world. However, not symmetrical with China's wind power development, the Chinese research work of wind farms impacts on birds and other wildlife is deficient. This paper summarizes the relevant international research work, elucidate wind farms on bird survival, migration and habitat impact, etc., and put forward suggestion for conservation, rational use of natural resources under the premise of minimizing wind farms on birds and other wildlife

\* 通讯作者, E-mail: zhoujiang@ioz.ac.cn;

**第一作者介绍** 朱永可, 男, 硕士; 研究方向: 鸟类生态学; E-mail: yongke\_zhu@126.com;

**# 共同第一作者** 李阳端, 男, 本科生; 研究方向: 动物生态学; E-mail: 827332256@qq.com。

收稿日期: 2016-01-22, 修回日期: 2016-05-18 DOI: 10.13859/j.cjz.201604022

influences. At present, China should learn from the foreign experience on wind farm management, and develop long-term work on impact of potential threats of under-construction and running wind farms for birds and other wildlife. At the same time, China should pay attention to basic research bird migration, and provide scientific solutions for site selection of new wind farms, to ensure the harmonious development of wind power and ecological environmental protection.

**Key words:** Wind energy; Bird collision; Bird migration; Habitat destruction; Protecting strategies

风能作为一种清洁的可再生能源，能够大量减少温室气体等污染物的排放，因而越来越受到世界各国的重视。全球风能的蕴量巨大，其中可利用的风能资源达到为  $2 \times 10^7$  MW，比地球上可开发利用的水能总量还要高 10 倍。自 1988 年第一次制造出风力发电机开始 (DWIA 2003)，全球风力发电取得了巨大发展。

中国的风能资源十分丰富，在世界风电五大国中仅次于美国，远远高于印度、德国和西班牙 (Council 2013)。近 10 年来中国风电产业发展势头强劲，2004 年时中国新增风电装机容量仅为 197 万 kW，累计风电装机容量仅为 743 万 kW；而到 2010 年，全球每新安装 3 台机组，就有 1 台在中国，当年新增风电装机容量 1 892.9 万 kW，累计风电装机容量为 4 473 万 kW，超越美国成为全球新增和累计风电装机容量最多的国家 (周超 2012)。2014 年中国新增装机容量 2 335 万 kW，累计装机容量 1.148 亿 kW，比 2013 年再度增加 25.5% (中国风能协会 2015)。

尽管风能可以满足能量需求和减少温室气体排放，对环境破坏相对较小，但实际上存在诸多生态问题，如风电场占据了大量陆地、破坏森林、噪音污染、影响野生动物等 (Gamboa et al. 2007)，风电场还会导致许多鸟类死亡，并对物种多样性造成不利影响 (Wang et al. 2015)。目前中国风力发电量位居世界首位，但在评估风电场对鸟类及其他野生动物影响方面的研究工作却相对滞后。本文通过总结国际上相关研究工作，阐明风电场对鸟类生存、迁徙及其栖息地等的影响，并提出保护建议，在合理利用自然资源的前提下尽量降低风电场对鸟

类和其他野生动物的影响。

## 1 风电场对鸟类的影响

### 1.1 对鸟类生存的影响

大型风电场拥有数以百计的风力涡轮机，而与风力涡轮机的碰撞是风电场导致鸟类死亡的直接原因。风机叶片的旋转高度范围一般在 40 ~ 120 m，如果鸟类飞行中遇到风力涡轮机而不能及时改变路线，具有很高的撞击风险。

早期风电场内鸟类碰撞风力涡轮机造成的死亡率较高 (Howell et al. 1991)，主要由于许多风电场建在鸟类数量较多的区域 (Colson 1995)。近 10 年的研究表明，鸟类与风力涡轮机的碰撞率有所下降 (0.02 ~ 0.60 只/涡轮机)。在诸多鸟类中，猛禽与其发生的碰撞率较高 (Orloff et al. 1992, Osborn et al. 1998, European Wind Energy Association 2009, Wang et al. 2015)。例如，在美国阿尔塔蒙特山口的风电场，每年大约有 80 只金雕 (*Aquila chrysaetos*) 和 400 只兀鹫 (*Gyps fulvus*) 与风力涡轮机发生碰撞而死亡 (Hunt 2001)，主要由于这些猛禽需要依靠山口间的上升热气流往返觅食地与栖息地 (图 1)，这些额外的死亡可能是造成该地区猛禽数量正在下降的原因 (Hunt 2001)。沿海地区的风电场同样会对越冬海鸟造成影响，欧洲风能协会 (European Wind Energy Association, EWEA) (2009) 的报告表明，风电场的存在均会造成水禽、鸥类和雀形目等鸟类不同程度的死亡。

虽然风电场导致的鸟类死亡率并不高，但对于繁殖率低、生长缓慢和长寿的物种仍具有很大的影响，会显著影响其种群数量 (Carrete et

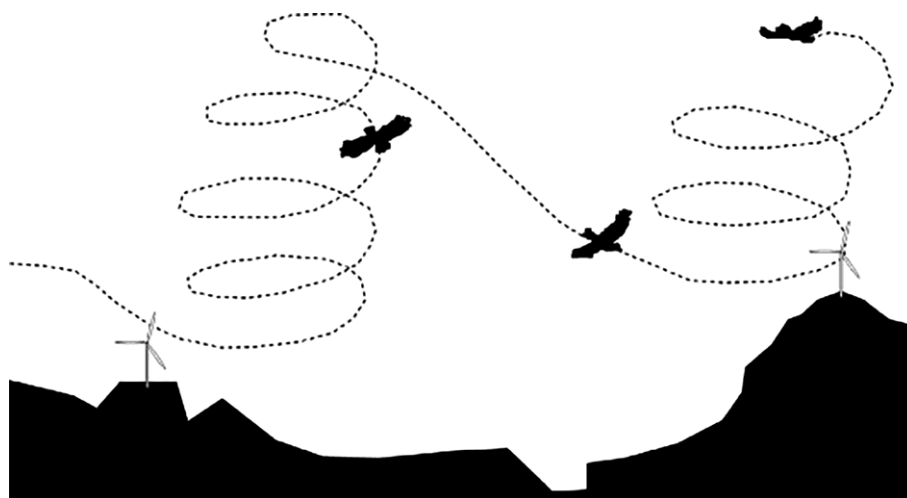


图 1 猛禽高空飞行路径及与风力涡轮机碰撞的示意图 (图片来源:

<http://www.paulnoll.com/Oregon/Birds/index.html>)

Fig. 1 Sketch of flying routes of the raptors and collisions with wind turbines (picture from

<http://www.paulnoll.com/Oregon/Birds/index.html>)

al. 2009, De Lucas et al. 2012b), 特别是那些装机容量大的大型风电场 (Kikuchi 2008)。

## 1.2 对鸟类迁徙的影响

鸟类迁徙路线上的风电场会给鸟类迁徙带来巨大威胁, 白天迁徙的鸟类往往需要飞得更高以躲避风力发电涡轮机组, 而当它们绕开或飞跃山峰时往往会距离山顶很近, 从而更容易接近风力发电场 (Duchamp 2003), 增加了发生碰撞的机率。Everaert (2003) 在比利时佛兰德斯风电场的研究发现, 风力发电塔造成鸟类死亡的数量与当地候鸟迁徙路线密切相关, 风电塔越接近迁徙通道, 鸟类死亡数量越多。另外, 风电场对鸟类迁徙的威胁不仅在于碰撞造成的直接死亡, 风力涡轮机的存在给鸟类的飞行造成阻碍。无论风力涡轮机是否旋转, 鸟类都会避免飞进风电场区域, 并且减慢飞行速度 (Osborn et al. 1998)。鸟类改变迁徙路线或回避障碍物会造成不必要的能量损失 (Langston et al. 2003), 进而影响其迁徙路线上停歇地和取食地的选择、换羽以及区域间的固有联系, 造成潜在的不利影响 (Drewitt et al. 2006)。

夜间能见度低, 迁徙鸟类甚至可能无法看清风力涡轮机的扇叶, 从而发生碰撞。Erickson 等 (2001) 在美国 31 处风电设施的研究中发现, 风力涡轮机造成死亡的鸟类中大约一半为夜晚迁移的雀形目种类。在春秋迁徙季节, 雀形目鸟类是与风力涡轮机碰撞风险最大的类群 (Higgins et al. 1996, Osborn et al. 1998), 因此, 风电场的建设应尽量避开鸟类迁移路线。但鸟类的迁徙通道一般较为宽阔, 而且许多鸣禽的夜间迁徙路线并不为人所知 (Langston et al. 2003), 因此实际操作上相当困难。对于大多数欧洲鸟类, 西班牙、意大利和以色列是鸟类飞往非洲的主要通道 (Holden et al. 1994), 这些迁徙路线的宽度有时近似于一个国家的宽度, 因而很难找到一个合适的地方去建造远离迁徙路线的风电场。

对于位于鸟类迁徙通道附近的风电场来说, 其光源也是影响鸟类安全的重要因素 (Drewitt et al. 2006, Poot et al. 2008)。夜间迁徙鸟类, 遇上大雾、降雨、强逆风的夜晚时, 容易受到迁徙通道旁红色和白色光源吸引, 从而向着光源飞行而与光源周围的障碍物发生碰撞。

Hüppop 等 (2006) 的研究表明, 海上风电场的灯光比陆地的影响更大, 同时其指出鸟类不易受到蓝色和绿色光源的吸引。

目前, 关于噪音是否会增加迁徙鸟类与涡轮机碰撞几率的研究较少。虽然有假说认为具有鸣笛声的涡轮机应能减少发生鸟类碰撞的几率, 但是尚未得到验证 (Dooling 2002)。

### 1.3 对鸟类栖息地的影响

风电场建设会导致动物栖息地的丧失, 其危害可能比鸟类与风力涡轮机碰撞死亡更大。Leddy 等 (1999) 指出, 风电场的风力涡轮机及相关设备会影响鸟类对栖息地的选择, 在没有风力涡轮机或与风力涡轮机距离超过 80 m 的草原上, 鸟类种群密度显著高于风电场区域。同样, 美国明尼苏达州的研究也表明, 鸟类和其他野生动物会尽量避免在风电场的风力涡轮机附近区域栖息 (Osborn et al. 2000)。欧洲风能协会的调查强调, 风电场的存在会迫使鸟类离开其最优栖息地, 从而导致可利用栖息地的减少, 最终影响其繁殖成功率和种群数量 (European Wind Energy Association 2009)。

单一风电场对鸟类的影响相对较小, 但随着风电场数量的增加, 其累积效应造成鸟类种群数量降低或波动的可能性更大 (Stewart et al. 2007)。目前, 欧盟和英国都已将累积效应作为风电场整体环境影响评估的重要部分 (Masden et al. 2010)。风电场的施工阶段也能对鸟类的种群数量产生影响。对比英国 15 个在建风电场和 3 个已经建成风电场中 10 种鸟类, 发现在风电场的施工阶段, 柳雷鸟苏格兰亚种 (*Lagopus lagopus scoticus*)、扇尾沙锥 (*Gallinago gallinago*) 和白腰杓鹬 (*Numenius arquata*) 的密度均出现下降, 而施工后仅柳雷鸟的密度有所恢复, 其他两个物种则未能恢复 (Pearce-Higgins et al. 2012), 说明风电场会对某些鸟类的种群数量造成不可逆的影响。

风电场的建筑群亦会造成鸟类栖息地破碎化 (Manes et al. 2002)。Robel (2002) 在美国堪萨斯州的研究表明, 发电量 1.5 MW 的风力

涡轮机将产生半径为 1 600 m 的回避距离, 而草原松鸡 (*Tympanuchus cupido*) 不会在此范围内筑巢及育雏, 从而导致其适宜栖息地越来越少 (Braun et al. 2002, Robel et al. 2004, Pitman et al. 2005)。此外, 风机转动产生的噪音会严重影响草原昆虫或湿地中鱼类的活动规律和分布, 从而降低了草原食虫鸟类和湿地食鱼鸟类的栖息地质量。虽然鸟类可能会逐步适应风电场的存在, 但食物匮乏也迫使它们离开这些栖息地 (王明哲等 2011)。

## 2 鸟类与风力涡轮机碰撞的影响因素

搞清鸟类与风力涡轮机碰撞的影响因素, 有助于为从事风电场开发与管理的研发和工作人员提供参考, 减少风电场对鸟类的影响。这些因素主要包括以下几个方面。

### 2.1 鸟类本身的因素

鸟类的某些形态特征, 例如体型大小, 是影响鸟类与人造结构 (如输电线和风电场) 碰撞风险的重要因素, 因为大型鸟类经常需要使用热气流和地形的上升气流以获得飞翔高度, 特别是在长距离飞行时, 从而更容易与风电场的涡轮机发生碰撞。在直布罗陀海峡的两个风电场, 冬季兀鹫更容易与风电塔发生碰撞而死亡, 可能因为兀鹫依靠当地的斜坡上升气流获得升力, 而冬季上升热气流较少, 其强度不足以支持兀鹫飞到超越风电塔叶片的高度, 从而增加了碰撞危险 (Barrios et al. 2004)。

鸟类的飞行方式会影响其与风电塔碰撞的风险, 尤其是在搜寻食物和捕食过程中 (Marques et al. 2014)。鸟类的翱翔主要依靠局部地区的热气流或水平气流遇到山、森林等障碍物所产生的上升气流, 这些气流易受到风的影响, 在强风天气, 鸟类的飞行方向和位置就会改变 (Barrios et al. 2004); 当鸟类专注于猎物时容易忽视风电塔的位置, 从而增加其与风电塔碰撞的风险 (Krijgsveld et al. 2009, Smallwood et al. 2009)。有时无风天气涡轮机叶片不动时, 会成为猛禽的栖息场所, 而对涡轮

机的熟悉会使其警觉性降低,也是导致碰撞的原因之一(Orloff et al. 1992)。研究还发现,当成排的风力涡轮机在鸟类的飞行路径上形成一堵风墙时,鸟类为了躲避涡轮机,发生在边缘或间隙处的碰撞更多(Smallwood et al. 2004)。

碰撞风险也可能与鸟类的性别或年龄相关(Everaert et al. 2007, Stienen et al. 2008)。Everaert 和 Stienen (2007) 发现只有成年普通燕鸥(*Sterna hirundo*) 在飞行中会与风电场的涡轮机发生碰撞,由于产卵期和孵化期雌雄鸟的觅食行为和频率存在差异,导致雄鸟的碰撞率更高。Morinha 等(2014)也发现,因为繁殖季欧亚云雀(*Alauda arvensis*)雌雄鸟的飞行路线和方式不同,造成成年雄鸟的碰撞率更高(Morinha et al. 2014)。鸟类飞行的高度一般高于涡轮机叶片 50 m,而在育雏过程中鸟类会倾向于靠近建筑物飞行(Henderson et al. 1996),因而在飞过涡轮机叶片时容易发生碰撞(Band et al. 2005, Furness et al. 2013)。集体飞行的鸟类往往更容易与输电线发生碰撞,因为集体飞行的个体比单独飞行的个体更容易忽视周围的环境变化(Janss 2000),而且飞行位置靠后的个体视线易受阻挡(Kikuchi 2008)。

## 2.2 风电场的具体因素

旧格子型塔式的风电场具有较高的碰撞风险,因为有些鸟类会在上面筑巢或停息(Osborn et al. 1998, Thelander et al. 2000)。鸟类碰撞风险也与风电场的布局有关,例如风电场垂直布置在鸟类主飞行路径上造成的碰撞风险更高(Höcker et al. 2006)。

鸟类与风电塔发生碰撞很大程度上可能与风电场的地形有关,特别是对于那些翱翔的鸟类,它们经常会利用一些地貌(如山脊、急坡、山谷等)的上升气流飞翔,因此这类地形会增加碰撞发生的机率(Barrios et al. 2004)。

如果风电场地区食物可利用性高,会吸引鸟类而增加与风电塔的碰撞风险(Drewitt et al. 2006)。例如,在阿尔塔蒙特山口风电场,猛禽碰撞死亡率高的部分原因是当地食物资源丰富

(Smallwood et al. 2001, Hoover et al. 2005)。

另外,大雾、降雨、强逆风或大气能见度低的天气条件下,迁徙鸟类会降低飞行高度来应对恶劣天气,从而增加与人工结构(风电场建筑、高楼等)相撞的风险(Longcore et al. 2013),造成更多的鸟类死亡(Erickson et al. 2001, Hüppop et al. 2006)。

## 3 减轻风电场鸟类碰撞的策略

### 3.1 风电场的选址

减轻风电场鸟类碰撞的策略主要集中在风电场建设之前。风电场位置的科学选择,能大大减轻其对鸟类和其他野生动物影响,从而避免建成之后的补救措施以及用于补偿措施的费用(Marques et al. 2014)。

多年来,美国、欧洲和澳大利亚等风电场发展指导方针中都要求认真考虑其对野生动物的影响(California Energy Commission 2007, European Union 2011, Atienza et al. 2012, State Government Victoria 2012, U. S. Fish and Wildlife 2012)。在建设风电场的计划阶段必须把风电场置于一个广阔的生境中考虑其对生物的影响(Northrup et al. 2013)。需要说明的是,短期研究很难搞清所提议位置是否存在潜在的碰撞危险,必须进行长期监测,包括建设前和建成后鸟类死亡率的对比等(Kikuchi 2008),从而提出更好的保护建议。

风电场建设一项最重要的原则是避免涡轮机选址在主要的鸟类迁徙通道上或鸟类高度集中的地区(Manville et al. 2005, Atienza et al. 2012)。Bright 等在 2008 年对苏格兰鸟类的数量分布、栖息地分布、飞行路线等进行统计,通过这些统计分析出鸟类对于风电场的敏感地图,从而可以规避碰撞的风险(Bright et al. 2008, 2009)。Tapia 等(2009)根据现有鸟类的飞行路线及栖息地环境,利用模型分析出金雕(*Aquila chrysaetos*)与风电场之间存在的潜在风险,为之后的风电场建设提供建议。

### 3.2 缓和措施

虽然良好的规划能够减轻风电场对鸟类及野生动物的影响，但风电场建成后还是会出现各种预想不到的影响，因此缓和措施就显得尤为重要。根据目前的监测情况，在鸟类高风险碰撞地区，适时关闭风电场似乎是最有效的缓解方法。可以是整年关闭，也可以是关闭一段时间，这需要结合鸟类的迁徙季节、特殊天气条件等因素，通过碰撞风险模型来确定关停涡轮机的时间以及数量 (Marques et al. 2014)。

生境改变技术也是有效避免鸟类与风电场发生碰撞的一种管理措施，是指通过改造各种植被，为鸟类创造可替代的觅食区，并在定点野生动物管理计划中得到广泛应用 (如机场等) (Bishop et al. 2003)。

针对猛禽容易与风电塔发生碰撞的情况，应避免啮齿目动物在风电场周围活动，因为它们是猛禽的食物 (崔怀峰 2008)；减少风电场附近腐肉的可用性，可以降低风电场区域猛禽的密度，同时，应避免在涡轮机周边形成大范围的湿地，因为湿地是很多鸟类觅食和栖息的重要场所 (Manville et al. 2005)。

提高涡轮机的可见性可以减轻鸟类碰撞的几率，但尚未得到野外研究的证实。涡轮机叶片的可见性一般通过图案或颜色的搭配来实现。基于实验室研究，使用黑白色方型波浪条纹图案的叶片可以增加可见度 (McIsaac 2001)。由于一些鸟类具有识别紫外光谱的能力，还可利用紫外反光油漆来增加叶片的可见性 (Jacobs 1992, Bennett et al. 1994, Hart et al. 2007)。

使用干扰设备驱吓鸟类，使其远离特定的区域，这种方法在野生动物管理中广泛使用。其中，生物声学技术较为有效，但在长期使用的过程中，鸟类会习惯相关刺激，其作用会随着时间的延长逐渐降低 (Dooling 2002, Bishop et al. 2003)。激光干扰是阻止鸟类夜间碰撞的一种方法 (Cook et al. 2011)。干扰设备还可以通过自动实时监视系统来控制，并与消减或关停涡轮机等措施结合使用 (May et al. 2012)。

### 3.3 监测和补偿措施

风电场的生命周期较短 (约 30 年)，其设备也需要定期更换，风电场改造包括涡轮机置换、取消、空间上的重新调整等，这是降低风电场对鸟类影响的一个重要机会。风电场建成后必须进行长期的鸟类监测，这样在调整时才知道哪些物种受到严重影响，从而在风电场改造时通过相关措施避免或降低这些影响。

当缓和策略不能将风电场的负面影响降低到可以接受的水平时，就应该启动补偿机制，努力从整体上减少其对鸟类和其他野生动物的负作用。补偿措施主要是通过扩大受威胁鸟类的栖息地，增加其食物资源，控制其捕食者等，提高其繁殖成功率和生存率，恢复其种群；另外，也可以通过人工饲养和再引入的手段恢复种群 (Cole 2011)。

尽量减少其他人为影响，也可补偿风电场对鸟类的负作用，例如缩减风电场周围电线、道路和铁路等人为设施；减少人类活动的干扰；加强对猎杀鸟类的管理；加强当地野生动物保护教育等 (Cole 2011, Cole et al. 2013)。

中国是世界上风力发电发展最快的国家，但风电场发展对鸟类和野生动物影响的研究非常匮乏，仅有针对沿海地区迁徙性鸟类的少量研究工作 (吕士成 2009, 许燕华等 2010, 郑有飞等 2010, 施蓓等 2014)，发现鸟类与风电场设施发生碰撞的几率较小，风电场的建立会导致鸟类栖息地和觅食地丧失，以及使鸟类改变迁徙路线来规避风电场区域，进而使得风电场周围某些鸟类种群数量和鸟类多样性降低等 (施蓓等 2014)。作为电力生产的可再生能源，风力发电正在快速发展，风电场对鸟类和其他野生动物的潜在威胁也将愈加严重。如果没有科学的方法进行管理，这样的影响会继续加剧。我国应该意识到风力发电虽是可再生能源，但其发展应尽量减少对生态环境的影响。目前，应该借鉴国外的研究管理经验，通过长期的连续观测，认真评估国内正在运行和在建的风电场对于鸟类和其他野生动物的影响及潜在威

胁。另外,应加强鸟类迁徙的基础生态学研究,结合人工观测、卫星无线电遥测、GPS 追踪等先进技术,了解迁徙鸟类的迁徙路线和迁徙方式,为新建风电场的选址提供科学的方案,保证风力发电和生态环境保护之间的和谐发展。

## 参 考 文 献

- Atienza J C, Fierro I M, Infante O, et al. 2012. Directrices para la evaluación del impacto de los parques eólicos en aves y murciélagos. versión 3.0. Madrid: SEO/BirdLife, 29–30.
- Band W, Madders M, Whitfield D P. 2005. Developing field and analytical methods to assess avian collision risk at wind farms // De Lucas M, Janss G, Ferrer M. *Birds and Wind Power*. Barcelona, Spain: Lynx Edicions, 259–275.
- Barrios L, Rodriguez A. 2004. Behavioural and environmental correlates of soaring-bird mortality at on-shore wind turbines. *Journal of Applied Ecology*, 41(1): 72–81.
- Bennett A T D, Cuthill I C. 1994. Ultraviolet vision in birds: what is its function? *Vision Research*, 34(11): 1471–1478.
- Bishop J, McKay H, Parrott D, et al. 2003. Review of international research literature regarding the effectiveness of auditory bird scaring techniques and potential alternatives. *Journal of Food and Rural Affairs*, 1(1): 1–48.
- Braun C E, Oedekoven O O, Aldridge C L. 2002. Oil and gas development in western North America: effects on sagebrush steppe avifauna with particular emphasis on sage grouse. United States: Transactions of the North American Wildlife and Natural Resources Conference 67, 337–349. [R/OL] [2016-01-03] <http://www.oilandgasbmps.org/docs/GEN094.pdf>.
- Bright J A, Langston R, Anthony S. 2009. Mapped and written guidance in relation to birds and onshore wind energy development in England. UK, Royal Society for the Protection of Bird, 35: 1–173. [R/OL] [2016-01-03] <http://www.rspb.org.uk>.
- Bright J A, Langston R, Bullman R, et al. 2008. Map of bird sensitivities to wind farms in Scotland: a tool to aid planning and conservation. *Biological Conservation*, 141(9): 2342–2356.
- California Energy Commission. 2007. California Guidelines for Reducing Impacts to Birds and Bats from Wind Energy Development. Commission Final Report. California Energy Commission, Renewables Committee, and Energy Facilities Siting Division, and California Department of Fish and Game, Resources Management and Policy Division. [R/OL] [2016-01-03] [http://w.gosolarcalifornia.org/windguidelines/training/2007-12-04\\_Letter\\_to\\_County\\_Planning\\_Directors](http://w.gosolarcalifornia.org/windguidelines/training/2007-12-04_Letter_to_County_Planning_Directors).
- Carrete M, Sánchez-Zapata J A, Benítez J R, et al. 2009. Large scale risk-assessment of wind-farms on population viability of a globally endangered long-lived raptor. *Biological Conservation*, 142(12): 2954–2961.
- Cole S G. 2011. Wind power compensation is not for the birds: an opinion from an environmental economist. *Restoration Ecology*, 19(2): 147–153.
- Cole S G, Dahl E L. 2013. Compensating white-tailed eagle mortality at the Smøla wind-power plant using electrocution prevention measures. *Wildlife Society Bulletin*, 37(1): 84–93.
- Colson E W. 1995. Avian interactions with wind energy facilities: a summary. American Wind Energy Association, Washington, DC. United States. No. CONF-950309. [R/OL] [2016-01-03] <http://www.osti.gov/scitech/biblio/269349>.
- Cook A S C P, Ross-Smith V H, Roos S, et al. 2011. Identifying a Range of Options to Prevent or Reduce Avian Collision with Offshore Wind Farms using a UK-based Case Study. British Trust for Ornithology (BTO) Research Report, 580:124–127. [R/OL] [2016-01-03] [http://www.bto.org/sites/default/files/shared\\_documents/publications/research-reports/2011/rr580.pdf](http://www.bto.org/sites/default/files/shared_documents/publications/research-reports/2011/rr580.pdf).
- Council G W E. 2013. Global wind statistics 2012. Report. Brussels, Belgium: Global Wind Energy Council, 1–4.
- De Lucas M, Ferrer M, Janss G F E. 2012. Using wind tunnels to predict bird mortality in wind farms: the case of griffon vultures. *PLoS One*, 7(11): e48092.
- Dooling R. 2002. Avian Hearing and the Avoidance of Wind Turbines. University of Maryland. College Park (MD): National Renewable Energy Laboratory.
- Drewitt A L, Langston R H. 2006. Assessing the impact of wind farms on birds. *Ibis*, 148(suppl 1): 29–42.
- Duchamp M. 2003. Birds and windfarms-critical analysis of four reports on bird mortality at windfarm sites. Centro de Investigaciones y Promoción de Iniciativas y para Conocer y

- Proteger la Naturaleza. [EB/OL]. [2016-01-12]. <http://www.iberica2000.org/Es/Articulo.asp?Id=1195>.
- DWIA-Danish Wind Industry Association. 2003. History of Wind Energy. Copenhagen: DWIA.
- Erickson W P, Johnson G D, Strickland M D, et al. 2001. Avian Collisions with Wind Turbines: a Summary of Existing Studies and Comparisons to Other Sources of Avian Collision Mortality in the United States. United States: RESOLVE, Inc.(US), 1-62.
- European Union. 2011. Wind Energy Developments and Natura 2000. Guidance Document, Luxembourg. [EB/OL]. [2016-01-12]. [http://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/management/docs/Wind\\_farms.Pdf](http://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/management/docs/Wind_farms.Pdf).
- European Wind Energy Association. 2009. The Economics of Wind Energy. Belgium: EWEA, 73-87.
- Everaert J. 2003. Windturbines en vogels in Vlaanderen: voorlopige onderzoeksresultaten en aanbevelingen. *Natuurpunt*, 69(4): 145-155.
- Everaert J, Stienen E W M. 2007. Impact of wind turbines on birds in Zeebrugge (Belgium). *Biodiversity and Conservation*, 16(2): 3345-3359.
- 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(5): 56-66.
- Gamboa G, Munda G. 2007. The problem of windfarm location: A social multi-criteria evaluation framework. *Energy Policy*, 35(3): 1564-1583.
- Hart N S, Hunt D M. 2007. Avian visual pigments: characteristics, spectral tuning, and evolution. *The American Naturalist*, 169(supple 1): 7-26.
- Henderson I G, Langston R H W, Clark N A. 1996. The response of common terns *Sterna hirundo* to power lines: an assessment of risk in relation to breeding commitment, age and wind speed. *Biological Conservation*, 77(2): 185-192.
- Higgins K F, Osborn R G, Dieter C D, et al. 1996. Monitoring of Seasonal Bird Activity and Mortality at the Buffalo Ridge Wind Resource Area, Minnesota, 1994-1995. South Dakota: South Dakota Cooperative Fish and Wildlife Research Unit, National Biological Service, Brookings.
- Holden P, Langman M. 1994. *Migrants and Migration*. London: Hamlyn Ltd.
- Hoover S L, Morrison M L. 2005. Behavior of red-tailed hawks in a wind turbine development. *Journal of Wildlife Management*, 69(1): 150-159.
- Håker H, Thomsen K M, Köster H. 2006. Impacts on biodiversity of exploitation of renewable energy sources: the example of birds and bats. Facts, gaps in knowledge, demands for further research, and ornithological guidelines for the development of renewable energy exploitation. Michael-Otto-Institut im NABU, Bergenhusen: 65. [R/OL] [2016-01-03] [https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Hotker\\_et\\_al\\_Renewable\\_Energy\\_on\\_Biodiversity.pdf](https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/Hotker_et_al_Renewable_Energy_on_Biodiversity.pdf).
- Howell J A, DiDonato J E. 1991. Assessment of avian use and mortality related to wind turbine operations, Altamont Pass, Alameda and Contra Costa Counties, California, September 1998 through August 1989. Final report submitted to US Windpower.
- Hunt W G. 2001. Continuing studies of golden eagles at Altamont Pass. United State: Proceedings of the National Avian-Wind Power Planning Meeting IV.15.
- Hüppop O, Dierschke J, Exo K M, et al. 2006. Bird migration studies and potential collision risk with offshore wind turbines. *Ibis*, 148(supple 1): 90-109.
- Jacobs G H. 1992. Ultraviolet vision in vertebrates. *American Zoologist*, 32(4): 544-554.
- Janss G F E. 2000. Avian mortality from power lines: a morphologic approach of a species-specific mortality. *Biological Conservation*, 95(3): 353-359.
- Kikuchi R. 2008. Adverse impacts of wind power generation on collision behaviour of birds and anti-predator behaviour of squirrels. *Journal for Nature Conservation*, 16(1): 44-55.
- Krijgsveld K L, Akershoek K, Schenk F, et al. 2009. Collision risk of birds with modern large wind turbines. *Ardea*, 97(3): 357-366.
- Langston R, Pullan J D. 2003. Wind farms and birds: an analysis of the effects of wind farms on birds, and guidance on environmental assessment criteria and site selection issues. Council of Europe. [M/OL] [2016-01-03] <https://xueshu.glgoo.org/scholar?hl=zh-CN&q=Wind+farms+and+birds%3A+an+analysis+of+the+effects+of+wind+farms+on+birds%2C+and+guida>



- nce+on+environmental+assessment+criteria+and+site+selection+issues&btnG=&lr=
- Leddy K L, Higgins K F, Naugle D E. 1999. Effects of wind turbines on upland nesting birds in Conservation Reserve Program grasslands. *Wilson Bulletin*, 111(1): 100–104.
- Longcore T, Rich C, Mineau P, et al. 2013. Avian mortality at communication towers in the United States and Canada: which species, how many, and where? *Biological Conservation*, 158(1): 410–419.
- Manes R, Harmon S, Obermeyer B, et al. 2002. Wind energy and wildlife: An attempt at pragmatism. Special Report of the Wildlife Management Institute. [R/OL] [2016-01-03] [https://xueshu.google.org/scholar?q=2002+Wind+energy+and+wildlife%3A+n+attempt+at+pragmatism.&btnG=&hl=zh-CN&as\\_sdt=0%2C5](https://xueshu.google.org/scholar?q=2002+Wind+energy+and+wildlife%3A+n+attempt+at+pragmatism.&btnG=&hl=zh-CN&as_sdt=0%2C5).
- Manville I I, Albert M. 2005. Bird strike and electrocutions at power lines, communication towers, and wind turbines: state of the art and state of the science-next steps toward mitigation. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-191, 1051–1064. [R/OL] [2016-01-03] [http://www.fs.fed.us/psw/publications/documents/psw\\_gtr191/psw\\_gtr191\\_1051-1064\\_manville.pdf](http://www.fs.fed.us/psw/publications/documents/psw_gtr191/psw_gtr191_1051-1064_manville.pdf)
- Marques A T, Batalha H, Rodrigues S, et al. 2014. Understanding bird collisions at wind farms: An updated review. *Biological Conservation*, 179(11): 40–52.
- Masden E A, Fox A D, Furness R W, et al. 2010. Cumulative impact assessments and bird/wind farm interactions: Developing a conceptual framework. *Environmental Impact Assessment Review*, 30(1): 1–7.
- May R, Hamre Ø, Vang R, et al. 2012. Evaluation of the DTBird video-system at the Smøla wind-power plant. Detection capabilities for capturing near-turbine avian behaviour. Norwegian Institute for Nature Research (NINA), Trondheim, Norway, 910: 1–27. [R/OL] [2016-01-03] <http://www.nina.no/archive/nina/PppBasePdf/rapport%5C2012%5C910.pdf>.
- McIsaac H P. 2001. Raptor acuity and wind turbine blade conspicuity. Washington DC: National Avian-Wind Power Planning Meeting IV, Proceedings. Prepared by Resolve, Inc., 59–87.
- Morinha F, Travassos P, Seixas F, et al. 2014. Differential mortality of birds killed at wind farms in Northern Portugal. *Bird Study*, 61(2): 255–259.
- Northrup J M, Wittemyer G. 2013. Characterising the impacts of emerging energy development on wildlife, with an eye towards mitigation. *Ecology Letters*, 16(1): 112–125.
- Orloff S G, Flannery A W. 1992. Wind turbine effects on avian activity, habitat use, and mortality in the Altamont Pass and Solano County Wind Resource Areas, prepared for the California Energy Commission by BioSystems Analysis, Inc., Tiburon, California. California Energy Commission, 700(92): 1.
- Osborn R G, Dieter C D, Higgins K F, et al. 1998. Bird flight characteristics near wind turbines in Minnesota. *The American Midland Naturalist*, 139(1): 28–38.
- Osborn R G, Higgins K F, Usgaard R E, et al. 2000. Bird mortality associated with wind turbines at the Buffalo Ridge Wind Resource Area, Minnesota. *American Midland Naturalist*, 143(1): 41–45.
- Pearce-Higgins J W, Stephen L, Douse A, et al. 2012. Greater impacts of wind farms on bird populations during construction than subsequent operation: results of a multi-site and multi-species analysis. *Journal of Applied Ecology*, 49(2): 386–394.
- Pitman J C, Hagen C A, Robel R J, et al. 2005. Location and success of lesser prairie-chicken nests in relation to vegetation and human disturbance. *Journal of Wildlife Management*, 69(3): 1259–1269.
- Poot H, Ens B J, de Vries H, et al. 2008. Green light for nocturnally migrating birds. *Ecology and Society*, 13(2): 47.
- Robel R J. 2002. Expected impacts on greater prairie-chickens of establishing a wind turbine facility near Rosalia, Kansas. Report to Zilkha Renewable Energy, Houston, Texas, USA. 1–29. [R/OL] [2016-01-03] [http://www.fws.gov/southwest/es/documents/R2ES/LitCited/LPC\\_2012/Robel\\_2002.pdf](http://www.fws.gov/southwest/es/documents/R2ES/LitCited/LPC_2012/Robel_2002.pdf)
- Robel R J, Harrington Jr J A, Hagen C A, et al. 2004. Effect of energy development and human activity on the use of sand sagebrush habitat by lesser prairie-chickens in southwestern Kansas. United States. *Transactions of the North American Natural Resources Conference*, 69: 251–266. [R/OL] [2016-01-03] [https://www.researchgate.net/publication/252594407\\_Effect\\_of\\_Energy\\_Development\\_and\\_Human\\_Activity\\_on\\_the\\_Use\\_of\\_Sand\\_Sagebrush\\_Habitat\\_by\\_Lesser\\_Prairie-Chickens\\_in\\_Southwestern\\_Kans](https://www.researchgate.net/publication/252594407_Effect_of_Energy_Development_and_Human_Activity_on_the_Use_of_Sand_Sagebrush_Habitat_by_Lesser_Prairie-Chickens_in_Southwestern_Kans)

- as)
- Smallwood K S, Karas B. 2009. Avian and bat fatality rates at old-generation and repowered wind turbines in California. *Journal of Wildlife Management*, 73(7): 1062–1071.
- Smallwood K S, Rugge L, Hoover S, et al. 2001. Intra-and interturbine string comparison of fatalities to animal burrow densities at Altamont Pass. Carmel, California: Proceedings of the National Avian-Wind Power Planning Meeting IV, 23–37.
- Smallwood K S, Thellander C G. 2004. Developing Methods to reduce Bird Mortality in the Altamont Pass Wind Resource Area. United States: California Energy Commission. [R/OL] [2016-01-03] [https://xueshu.glgoo.org/scholar?q=Developing+Methods+to+reduce+Bird+Mortality+in+the+Altamont+Pass+Wind+Resource+Area.&btnG=&hl=zh-CN&as\\_sdt=0%2C5](https://xueshu.glgoo.org/scholar?q=Developing+Methods+to+reduce+Bird+Mortality+in+the+Altamont+Pass+Wind+Resource+Area.&btnG=&hl=zh-CN&as_sdt=0%2C5)
- State Government Victoria. 2012. Policy and Planning Guidelines for Development of Wind Energy Facilities in Victoria. State Government Victoria.
- Stewart G B, Pullin A S, Coles C F. 2007. Poor evidence-base for assessment of windfarm impacts on birds. *Environmental Conservation*, 34(1): 1–11.
- Stienen E W M, Courtens W, Everaert J, et al. 2008. Sex-biased mortality of common terns in wind farm collisions. *The Condor*, 110(1), 154–157.
- Tapia L, Dom ínguez J, Rodr íguez L. 2009. Using probability of occurrence to assess potential interaction between wind farms and a residual population of golden eagle *Aquila chrysaetos* in NW Spain. *Biodiversity and Conservation*, 18(8): 2033–2041.
- Thellander C G, Rugge L. 2000. Avian risk behavior and fatalities at the Altamont Wind Resource Area. National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado. NREL, SR-500-27545: 1–20. U. S. Fish and Wildlife. 2012. U. S. Fish and Wildlife Service Land-based Wind Energy Guidelines. OMB Control No.1018-0148. Arlington, VA.
- Wang S, Wang S, Smith P. 2015. Ecological impacts of wind farms on birds: Questions, hypotheses, and research needs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44: 599–607.
- 崔怀峰, 杨茜, 张淑霞. 2008. 鸟类与风电机相撞的影响因素分析及保护措施. *环境科学导刊*, 27(5): 52–56.
- 吕士成. 2009. 盐城越冬丹顶鹤栖息地保护与经济发展之间的关系. *野生动物*, 31(1): 37–39.
- 施蓓, 丁玲, 徐凌云, 等. 2014. 东海大桥海上风电场对鸟类组成的影响. *生态学杂志*, 33(4): 1068–1075.
- 王明哲, 刘钊. 2011. 风力发电场对鸟类的影响. *西北师范大学学报: 自然科学版*, 47(3): 87–91.
- 许燕华, 钱谊, 陈雁, 等. 2010. 东沙沙洲离岸潮间带风电场建设对鸟类的影响. *环境监测管理与技术*, 22(2): 19–23.
- 郑有飞, 吕士成. 2010. 风电场对盐城珍禽自然保护区鸟类的影响. *生态学杂志*, 29(3): 560–565.
- 中国风能协会(CWEA). 2015. 2014年中国风电装机容量统计. *风能*, 6(2): 36–49.
- 周超, 朱焜秋, 魏杰, 等. 2012. 我国风力发电发展现状和问题分析. *能源研究与信息*, 28(2): 69–75.