

风能领域环境、健康与安全指南

前言

1. 《环境、健康与安全指南》（简称《EHS指南》）是技术参考文件，其中包括优质国际工业实践（GIIP）所采用的一般及具体行业的范例。¹如果世界银行集团的一个或多个成员参与项目，则应根据这些成员各自政策和标准的要求执行本《EHS指南》。各行业《EHS指南》应与《通用EHS指南》共同使用，后者提供的指南针对所有行业都可能存在的EHS问题。如果遇到复杂的项目，可能需要使用针对多个行业的指南。在以下网站可以找到针对各行业的指南：www.ifc.org/ehsguidelines。

2. 《EHS指南》所规定的指标和措施是通常认为在新设施中采用成本合理的现有技术即可实现的指标和措施。对现有设施应用《EHS指南》时，可能需制定具体针对该场所的指标，并需规定适当的达标时间表。

3. 应用《EHS指南》时，应根据每个项目确定的危害和风险灵活处理，其依据应当是环境评估的结果，并应考虑到该场所的具体变量（例如东道国具体情况、环境同化能力）以及项目的其他因素。具体技术建议是否适用应根据有资格和经验的人员提出的专业意见来决定。

4. 如果东道国的规则不同于《EHS指南》所规定的指标和措施，我们要求项目要达到两者中要求较高的指标和措施。如果根据项目的具体情况认为适于采用与本《EHS指南》所含规定相比要求较低的指标和措施，则在针对该场所进行的环境评估中需要对提出的替代方案作出详尽的论证。该论证应表明修改后的指标能够保护人类健康和环境。

适用性

5. 《风能领域EHS指南》包括的是有关海上与陆上风能设施环境、健康与安全方面的信息。风能设施应从前期的可行性评估以及环境影响评估环节便应用本指南，且应贯穿其建设与运营的所有阶段。附录A包括的是对这一领域行业活动的完整说明。有关输电线路建设与运行的EHS问题，请参见《电力转移与分配领域环境、健康与安全指南》。

本文由以下几个部分组成：

1. 具体行业的影响与管理.....	2
1.1 环境.....	2
1.2 职业健康与安全.....	10
1.3 社区健康与安全.....	13
2. 绩效指标监测.....	17
2.1 环境.....	17
2.2 职业健康与安全.....	18
3. 参考文献.....	20
附录A. 行业活动概述.....	27

¹ 定义如下：熟练且有经验的专业人士在全球相同或相似情况下开展同类活动时，按常理可预期其采用的专业技能、努力程度、谨慎程度和预见性。熟练而有经验的专业人士在评估项目可采用的污染防控技术时可能遇到的情况包括但不限于：不同程度的环境退化、不同程度的环境同化能力，以及不同程度的财务和技术可行性。

1. 具体行业的影响与管理

6. 本章概述风能领域的EHS问题，并提出如何对其进行管理的建议。按照《通用EHS指南》前言所述，采取通用方法管理EHS问题时，应在项目周期内尽早考虑此类问题的潜在影响，包括将EHS因素纳入风能设施的选址环节，以最大化可供选择的范围，避免和最大限度减少潜在的不利影响。重点在于，风能设施造成的EHS影响，大多可通过谨慎选址予以规避。

1.1 环境

7. 风能设施的建设活动通常包括：为场地准备和修建出入道路进行土地清理；挖掘、喷涂和填料；运输供应材料和燃料；建设涉及到挖掘和布置混凝土的地基；使用起重机进行卸载和安装设备；建设和安装相关基础设施；²安装架空导线或（地上和地下）电缆线路；以及新设备试车。报废工作包括对项目基础设施进行清理，并对施工地点进行恢复。

8. 风能设施建设、运行和报废工作相关的环境影响包括但不限于对物理环境的影响（例如噪声或视觉影响）和对生物多样性的影响（例如影响鸟类与蝙蝠）。一般情况下，由于风能转换设施的位置都比较偏远，在建设和报废阶段的设备与材料运输可能会带来一定的物流领域的挑战（例如，运输叶片这种较长的刚性结构物以及重型涡轮塔）。《通用EHS指南》的建设与报废部分提供了对这些EHS问题进行管理的建议。在偏远地区修建风电设施选址所用的出入道路，可能带来进一步风险，包括对生物多样性的不利影响以及相对难以到达的区域人类活动的增加。防控公路基础设施建设和运营相关影响的进一步指南，请见《收费公路EHS指南》。

9. 与风能项目和设施的建设、运行和报废有关的环境问题包括以下方面：

- 景观、海景和视觉影响
- 噪声
- 生物多样性
- 阴影闪烁
- 水质

10. 风能设施性质特殊，因此，本行业尤其可能对环境和社会产生累积影响。对累积影响进行评估时，若没有针对具体国家的指南可用，则应参考这一课题相关的国际良好实践指南。³有多个风能设施都靠近敏感地区（例如生物多样性价值高的区域）时，尤其需对其累积影响进行评估。

1.1.1 景观、海景和视觉影响

11. 风能设施可对景观构成影响，具体取决于其所处的位置。此类设施在住宅区或旅游景点可见范围或靠近住宅区或旅游景点时，所造成的影响尤为显著。风能项目相关的视觉影响，通常涉及安装且正在运行的

² 见附录A。

³ 相关指导文件包括：国际金融公司（IFC），《累积影响的评估与管理良好实践手册：面向新兴市场私营部门的指南》（2013）；加拿大风能协会（CanWEA），《加拿大风能开发导论》（2011）；苏格兰自然遗产署（SNH），《评估陆上风能开发的累积影响》（2012）。

涡轮机本身（例如涡轮机的颜色、高度和数量）。

12. 运行中的风电设施与周边景观和/或海景的相互作用也可能造成影响。受法律保护的区域、国际公认具备生物多样性重要意义的区域⁴和文化遗址⁵，其所受到的影响，也应纳入考量。建议绘制视觉影响区图，并以重要观察点为参照制作线框图与合成照片，供评估和磋商过程参考。

13. 为解决景观、海景和视觉影响而采取的消除或最小化措施，在很大程度上取决于风力涡轮机和相关基础设施（例如气象塔、陆上通道和变电站）的选址和布局。

14. 确定涡轮机的布局、尺寸与规模时，应从周边景观和海景特征以及周边的视觉受体（例如住宅楼、娱乐区/路线的用户等）角度进行考虑。

15. 还应考虑到涡轮机靠近定居点、住宅区和其他视觉受体的情况，以尽量减少其视觉影响和对住宅舒适性的影响。考虑涡轮机的位置时，应考虑到所有相关视角，包括附近定居点的视角。

16. 为尽量减少视觉影响，还可考虑以下因素：

- 在风能设施的布局和选址中纳入社区给出的意见与建议。
- 涡轮机保持统一尺寸和设计（例如涡轮机和塔的类型与高度）。
- 遵守相关国家针对涡轮机标识的标准要求，包括航空/导航标记规定和环境标识要求（见后文“社区健康与安全”一节）。
- 通过尽量减少现场基础设施的数量（包括道路的数量），埋设内部输电线路，避免堆放挖出物或建筑垃圾，以及撤掉不起作用的涡轮机，从而最大限度减少风电场内存在的辅助设施。
- 应实施防止水土流失措施，并在清理出来的空地中用当地物种进行补种。

1.1.2 噪声

施工噪声

17. 为保护附近居民，应限制陆上施工的噪声。产生噪声的活动包括爆破、打桩、道路和涡轮机底座施工以及涡轮机本身的安装。可接受噪声水平的相关指南，请见《通用EHS指南》。

18. 海上施工（例如打桩作业）产生的水下噪声和振动，可能对鱼类、海洋哺乳动物和海龟等海洋生物产生不利影响。决定声音在海洋中传播趋势的环境参数因不同地点而异，海洋物种也可能受到不同的影响，具体取决于其对水下声音频率的敏感性。应通过评估确定水下噪声在何处和/或何时可能对海洋生物产生重大影响，并确定适当的缓解措施。

运行噪声

19. 风力涡轮机在运行时会产生多种噪声，这些噪声主要来自机械与空气动力活动。⁶其机械部件主要有齿

⁴ “受法律保护的区域和国际公认的区域”定义见国际金融公司（IFC）“绩效标准6”（IFC，2012）第20条。

⁵ 具备考古、古生物、历史、文化、艺术和宗教价值的场所。

⁶ 通常风速越高，风力涡轮机辐射出的噪声量越大。

轮箱、发电机和偏航电机，每个部件各发出特定的声音。风扇和液压马达等其他机械系统，也可能属于整体声发射的源头之一。机械噪声沿涡轮机表面和机舱罩的开口向四周辐射。空气流过涡轮叶片时，空气和叶片之间经一系列过程产生相互作用，并由此产生空气动力噪声。⁷

20. 应根据以下原则评估噪声的影响：

- 应根据对环境的敏感性选择受体（人类、牲畜或野生动物）。
- 应进行初步建模，以确定是否需进行更详细的调研。初步建模可能极为简单，只需假设半球型传播（即声音从源点向所有方向辐射）即可。初步建模应聚焦于风电场内任一涡轮机2000米范围内的敏感受体。
- 若初步建模结果表明，白天和夜晚风速10米/秒（m/s）的情况下，所有敏感受体处的涡轮机噪声可能都比LA90⁸低35分贝（A声级），则该初步建模可能足可用于评估噪声的影响；⁹若非如此，则建议进行更详细的建模，且可能需在建模过程中测量背景环境噪声。
- 所有建模都应考虑附近所有风能设施的累积噪声，此类噪声可能噪声级更高。
- 若采用基于环境噪声的噪声标准，则须在没有任何风力涡轮机的情况下测量背景噪声。测量应在一个或多个对噪声敏感的受体上进行。最靠近风能设施的通常都属于关键受体，但若最近的受体同时也靠近其他巨大噪声源，则可能需另行选择受体。
- 测量背景噪声时，应使用适当的挡风板，连续每隔10分钟测量一次。对于从切入风速提速至12米/秒过程中的每个整数值风速，均应至少进行5次这种间隔10分钟的测量。^{10 11}

噪声缓解措施

21. 噪声防控措施主要取决于工程设计标准和涡轮机的选址。现代化涡轮机的机械噪声通常大大低于空气动力噪声，而随着叶片翼型设计的不断改良，涡轮机的空气动力噪声也在日益降低。¹²

22. 噪声管理进一步建议措施如下：

- 在降噪模式下运行涡轮机。
- 在可能受噪声影响的建筑物周围修建墙壁/适当的隔音墙（鉴于涡轮机的高度，这种方案只适合丘陵地带）。
- 当风速在项目具体背景下可产生不可接受的噪声时，缩减涡轮机的运行时间。

23. 海上生态受体相关噪声的缓解方案，请见下一节。

1.1.3 生物多样性

24. 风能设施在建设、运行、维护和报废过程中，均有可能对陆上和海上生物多样性产生直接与间接的不

⁷ B.Howe等人，《风力涡轮机和声音：综述和最佳实践指南》（2007）。

⁸ 在测量期内90%的时间均超过的噪声级，A计权。

⁹ ETSU, ETSU-R-97报告，《风电场噪声评估和评级》（1997）。

¹⁰ 声学机构（IOA），《ETSU-R-97应用于风力涡轮机噪声评估和评级的良好实践指南》（2013）

¹¹ D.McLaughlin，《风切变及其对风力涡轮机噪声评估的影响》，《声学公报》，2012年7月/8月，39-42（2012）。

¹² 同上。

利影响。¹³¹⁴相关影响包括：鸟类和蝙蝠碰撞涡轮机造成的死亡；肺气压伤的潜在影响导致蝙蝠死亡；¹⁵野生动物被迫迁徙；栖息地转化/退化；¹⁶¹⁷¹⁸以及海洋哺乳动物因海上风能设施而暴露于噪声中。海上环境下，海底扰动和新出现的结构物也可能影响现有栖息地，同时吸引新的、可塑造栖息地的物种，例如贝类、珊瑚和水下植被。¹⁹位置不当且正在运行的涡轮机，可能干扰蝙蝠和鸟类的日常活动（例如从觅食地到休憩处或繁殖地），且可能干扰某些野生动物的迁徙模式。²⁰²¹相关基础设施也可能产生不利影响，尤其是架空输电线路、气象桅杆、变电站、水下电缆、道路、照明，以及风能设施维护涉及的船舶交通。

25. 要避免和尽量减少对生物多样性潜在的不利影响，选址发挥着至关重要的作用。选址时应考虑以下内容：

- 考虑拟建风能设施是否与地区内生物多样性价值高的场地（包括跨越国界的场地）相邻。早期筛选有助于促进宏观层面的项目选址，且能够为进一步评估划定优先范围，从而可在未来减少不必要的生物多样性影响与成本。在地方、地区和国际上具备重要性的场所可能包括：国家和国际保护区（包括海洋保护区）、重点鸟区（IBA）、生物多样性关键区（KBA）、零灭绝联盟（AZE）区域、拉姆萨尔湿地（国际重要湿地）、已知的聚居地以及独有的或受威胁的生态系统。此类场所可能属于已知重要的迁徙路线、湿地或集结区、觅食区或繁殖区，可能是蝙蝠冬眠的区域和休憩处，又或者可能存在重要的地形地貌，包括山脊、河谷、海岸线以及沿河地带。以下列出了一些极具实用性的选址工具：
 - (i) 战略环境评估，目的是对比不同风力资源区的生物多样性和其他环境敏感性；
 - (ii) 敏感性（叠合）图；²²
 - (iii) 利用数字资源展示生物多样性价值高的地区；²³²⁴²⁵以及
 - (iv) 分区图。
- 对海上风能设施进行选址时，需评估对海洋生物的生命周期具有重要意义的区域，尤其是鱼类、海洋哺乳动物和海龟（例如觅食区、繁殖区、产仔区和产卵区）栖息地或其他一些栖息地（例如幼崽/保育栖息地、贝类养殖区、珊瑚礁或海草床以及海带床）。选址时还需对渔业生产区进行评估。
- 咨询相关的国家和/或国际保护组织，也有助于为陆上和海上风能设施的选址提供信息。

¹³ D.Strickland等人，《研究风能/野生动物相互作用的综合指南》（华盛顿特区：美国全国风能协调协作组织（National Wind Coordinating Collaborative），2011）。

¹⁴ G.C.Ledec等人，《绿化风能：风能开发的环境与社会考量因素》（华盛顿特区：世界银行，2011）。

¹⁵ 要注意，有证据表明，气压伤对于蝙蝠的不利影响可能被夸大。应适当考虑以下文献和其他一些文献给出的参考：

E.F.Baerwald等人，《气压伤是风力涡轮机造成蝙蝠死亡的重要原因》，《当代生物学》期刊18:R695-R696（2008）；

D.Houck等人，《蝙蝠在风力涡轮机附近飞行的计算与分析研究：气压伤的影响》，科罗拉多州丹佛市美国全国风能协调委员会第九届风能野生动物研究大会演讲稿（2012）；K.E.Rollins等人，《风电场蝙蝠死亡病因的法医调查：气压伤还是创伤性损伤？》《兽医病理学》期刊49:362-371（2012）。

¹⁶ Hötter等人，《可再生能源开发对生物多样性的影响：鸟类和蝙蝠的例子——事实、知识空白、进一步研究的需求以及可再生能源开发的鸟类学指南》（Bergenhusen: Michael-Otto-Institut im NABU, 2006）。

¹⁷ J.M.Pearce Higgins，《山地风电场周边繁殖期鸟类的分布》，《应用生态学期刊》（2009）。

¹⁸ 风能设施分布范围有限，因此，针对高价值栖息地（尤其是森林栖息地，此类栖息地更有可能因风能设施而遭遇栖息地碎片化的相关影响），尤其应考虑栖息地转化/退化的问题。

¹⁹ J.Köller等人（编辑），《海上风能：环境影响研究》（柏林，2006）。

²⁰ A.L.Drewitt和H.W.Langston，《评估风电场对鸟类的影响》，*Ibis* 148, (2006): 29 - 42。

²¹ Masden等人，《迁徙路上的阻碍：风电场对鸟类迁徙的影响》，国际海洋考察委员会《海洋科学杂志》66（2009）：746 - 753。

²² 例如，若风能项目涉及迁徙期的鸟类，则可查询以下网站：<http://migratorysoaringbirds.undp.birdlife.org/en>。

²³ “生物多样性综合评估工具”等工具有助于获取重要的国际数据集。见 www.ibat-alliance.org。

²⁴ 见<http://www.protectedplanet.net/>

²⁵ European Commission (EC) Guidance Document, “Wind Energy Developments and Natura 2000,” (2011). 欧盟委员会（EC）指导文件，《风能开发与Natura 2000》（2011）。

开工前评估

26. 划定范围并开展桌面研究之后，可能需获取适当的、相关场所特定的生物多样性基线信息，以便为环境与社会影响评估（ESIA）提供信息。必要时，应尽早（例如在架设风电场气象桅杆时）开展生物多样性基线调查，并应考虑季节性因素。分层式生物多样性调查，可能有助于设计与项目开发阶段相契合的调查策略，且又能考虑到相关区域现有的生物多样性价值。²⁶²⁷

27. 目前已有多个详细说明陆上²⁸²⁹³⁰³¹与海上³²³³³⁴³⁵³⁶³⁷风能设施生物多样性调查范围和调查深度的指南。若相关国家国内尚未制定健全的准则，则应采用国际准则，且应始终考虑是否需针对特定场所、特定物种和特定季节展开调查。通用类风险评估与缓解方案，不太可能具备实用性，也无法简单地跨不同物种和不同场所使用。调查时应考虑以下事项：

- 相关场所特定的问题：栖息地、地理位置、地形相关的因素，以及风能设施是否与生物多样性价值高的场所相邻。
- 相关物种特定的问题：调查的对象应该包括：生物多样性价值高的动植物物种；拥有特殊国际或国家保护地位的动植物；当地特有物种；以及受风能设施影响的风险较高的物种。
例如，
 - 遭遇碰撞的风险相对较高的物种，包括：某些向高空飞翔并展翅且/或会迁徙的鸟类和成群的鸟类、以其他动物为食的鸟类；以及会迁徙的蝙蝠、树栖蝙蝠和食虫蝙蝠。
 - 受视觉干扰风险相对较高的物种，包括：本能上会避开高大结构物的旷野物种。³⁸
 - 一些物种可能被风能设施所吸引，并以其为栖息处或觅食区，此举可能进一步加大其遭遇碰撞的可能性。可能与项目相关输电线路发生碰撞的物种，包括：体重相对较大、机动性有限的鸟类（例如秃鹫、大鸨、水禽、鹤、鸬、鸬鹚、苍鹭、火烈鸟）；以及成群的鸟类。
 - 可能因项目相关输电线路遭遇触电危险的物种，包括各类猛禽、秃鹫、猫头鹰、某些鸬类和其他一些翼展较大的鸟类，以及在行为上倾向于经常栖息于输电线路和相关结构物上的鸟类。
 - 遭遇（海上风电设施）水下噪声干扰的风险相对较高的物种，包括海洋哺乳动物（尤其是鲸目动物）和某些浮游鱼类（例如鲱鱼）。

²⁶ A.R.Jenkins等人，《非洲南部拟议风能开发场所鸟类监测和缓解相关影响的最佳实践指南》（2011）。

²⁷ 美国鱼类和野生动物局，《陆上风能指南》（2012年）。

²⁸ 苏格兰自然遗产咨询公司（SNH），《指导性说明——为评估陆上风电场影响而提出的鸟类调查方法建议》（2014）。

²⁹ 美国鱼类和野生动物管理局（U.S. Fish and Wildlife Service），2012。

³⁰ L. Rodrigues等人，《风电场项目中蝙蝠相关因素的考量指南》，养护欧洲蝙蝠协定出版物系列第6期（Bonn: UNEP/EUROBATS, 2014）。

³¹ L.Hundt，《蝙蝠调查：良好实践指南》（养护欧洲蝙蝠信托基金，2012年）。

³² K.Camphuysen，《在英国海上风电场环境影响评估中实现标准化海鸟普查技术》（海上风电环境研究合作组织（COWRIE），2004）。

³³ R.J.Walls等人，《海上风电场使用远程技术进行鸟类监测的最佳实践指南修订版》（COWRIE，2009）。

³⁴ I.M.D.Maclean等人，《海上风电场评估方法综述》（英国鸟类学信托基金会受COWRIE委托编制的报告，2009年）。

³⁵ C.B.Thaxter和N.H.K.Burton，《调查海鸟和海洋哺乳动物所用的高清图像：近年试验与原型开发综述》（英国鸟类学信托基金会受COWRIE委托编制的报告，2009年）。

³⁶ I.M.D.Maclean等人，《利用航测技术探测海上风电场的鸟类被迫迁徙现象》，英国鸟类学信托基金会向COWRIE提交的第446号研究报告（Thetford:BTO）。

³⁷ D.Jackson和P.Whitfield，《苏格兰海洋可再生能源部署相关的调查与监测指南》，《鸟类》杂志第4卷。（2011）。

³⁸ Strickland等人2011年。

以上影响和其潜在的缓解方案，应逐个按物种进行评估。

- 季节特定的问题：调查时，应考虑一年中项目现场可能具备更强或不同生态功能或价值的特定时段（例如迁徙期、繁殖季节或冬季）。一旦发现有野生动物处于风险之中，则通常调查应至少持续一年。若相关区域内处于风险之中的候鸟出现异常聚集行为，以及区域内现有生物多样性数据有限，则有时或需加大调查时长。此时将逐个按项目予以确定。

28. 调查的设计与实施，应能够对涡轮机的微观选址（以及涡轮机的选型）起到充分指导作用，从而可最大限度减少鸟类和蝙蝠发生碰撞的风险。而这通常要求获取相对精确的信息，以便了解存在碰撞风险的野生动植物物种在附近的的活动模式，且要考虑所在地的地形特征、生态特征或其他一些景观特征。此类特征可能会吸引项目区域内以及周边景观的飞行类野生动物，或以其他形式导致这类野生动物出现聚集行为³⁹。具体的数据采集方法和研究设计应在技术专家的指导下，根据相关场所和物种特定的考量因素做出选择，且可能需采取有利位置调查⁴⁰、点计数调查、超声声学方法、遥感数据收集技术和/或其他技术，借以了解相关物种的活动模式，具体视情况而定。数据采集的范围应与风能设施的生物多样性风险相匹配。

29. 进行开工前研究时，应逐个按项目评估雷达和/或其他遥感技术的使用情况与有效性，且这样的评估在适当情况下可作为观察员调查的补充，具体视情况而定。⁴²遥感技术对于海上风电设施尤为实用，因为观察员调查在海上环境中难度较大且费用昂贵。

30. 针对蝙蝠展开的调查可能包括：评估项目区域及其附近的觅食区和/或休憩栖息地；使用手持超声波蝙蝠探测器对蝙蝠的活动进行调查（样带法）；捕获与释放调查；以及部署静态超声波探测器（尤其要针对涡轮机所在的位置）。静态探测器最好安装于高处，且可与气象桅杆相连接。

31. 适当情况下，可进行碰撞风险建模（CRM），具体取决于风能设施的位置和相关物种特定的因素，尤其当风能设施与生物多样性价值高的区域相邻时。⁴³碰撞风险建模的效果，将由有资质的专业人员逐个按项目进行评估。此类建模对于实证工具有限的海上风电场设施而言尤为实用。⁴⁵

32. 若有多个风电场设施位于同一地理区域和靠近生物多样性价值高的区域，则建议风电项目开发商采用合作式调查与监测方法。这种方法具有成本效益，因为可由各开发商共同规划并实施调查，成本也由各开发商共同分担。采取共用型调查方法和手段，也有助于开展累积影响评估，因为可实现数据采集方法和作业水平的标准化。若有多个风电场靠近生物多样性价值高的区域，则应进行累积影响评估。

缓解措施（陆上风电）

33. 谨慎的选址与布局，应能减少对生物多样性的不利影响。针对一切重大且不利的影响都需采取适当的缓解措施，⁴⁶其中可能包括：

- 根据相关场所、物种和季节特定的风险和影响，变更涡轮机的数量、尺寸以及布局。减少较高涡轮

³⁹ G.D.Johnson等人，《野生动物监测研究》，美国怀俄明州/卡本县Seawest风电场，1995年至1999年。为加利福尼亚州圣地亚哥SeaWest能源公司以及怀俄明州罗林斯市土地管理局编写的最终报告（Cheyenne: Western EcoSystems Technology, Inc. (WEST), 2000）。

⁴⁰ SNH 2014。

⁴¹ Strickland等人，2011。

⁴² Walls等人，2009。

⁴³ SNH，《指南：风电场和鸟类——在假设鸟类不躲避的前提下计算理论碰撞风险》（2000）。

⁴⁴ B.Band，《采用碰撞风险模型评估海上风电场的鸟类碰撞风险》（英国鸟类学信托基金会，2012）。

⁴⁵ SNH（2000）。

⁴⁶ 美国全国风能协调协作组织，《缓解措施工具箱》，（2007）。

塔的数量，可降低大多数鸟类的碰撞风险，且可减少开工前的植被清理工作量。还应进行生物多样性风险和影响评估，由此相应地确定输电线路、变电站和出入道路等相关基础设施的位置。

- 若风能设施靠近生物多样性价值高的区域，则应在缓解策略中纳入限制运行和按需关闭程序等涡轮机主动式管理措施，并在早期就进行财务建模并考虑相关敏感性。这种缓解方法应属于适应性方法，并以完善的施工后监测计划为指引。按需缩减和关闭程序应事先经过测试，其中对照组的涡轮机不限制运行，且对照组和测试组的涡轮机均接受细致的监测，以确定限制运行措施能否按预期降低死亡率。某些情况下，应考虑对涡轮机采用技术驱动型关闭系统，但任何此类系统均应在一段时间内接受由观察员引导的地面实况调查与评估，经历一个自适应管理过程。
- 避免在环境中人为制造可能吸引鸟类和蝙蝠前往风能设施的物体，⁴⁷例如水体、停落区或筑巢区、新的觅食区以及集结区或休憩区。遮盖或修理墙壁或建筑物中的所有空洞，有助于避免其被蝙蝠用作休憩处。
- 避免鸟类被可预测的食物来源所吸引，例如场内或场外的废弃物处置区或垃圾填埋场。有秃鹫或其他以腐肉为食的鸟类出没时，这一点尤为重要。为了确保有效性，这类缓解措施可能需同时在风能设施周边实施。
- 考虑调整切入风速，借以降低蝙蝠碰撞的可能性。这项措施的可行性，应依据相关物种和场所特定的数据来确定。切入风速即使只有小幅上升，也能够发电量或财务回报降幅极小的前提下极大降低蝙蝠的死亡率^{48,49}。
- 消除“自由旋转”现象（指涡轮机不发电时叶轮在低风速下自由旋转）。
- 尽量避免使用人造光源。白色、稳定的光线对昆虫等被捕食者尤其具有吸引力，而被捕食者又会吸引捕食者。选择照明时，最好使用红色或白色的闪光灯或脉冲灯^{50,51}。应避免使用不闪动的灯光或缓慢闪动的灯光。使用灯光定时器、运动传感器或朝下且带灯罩的照明，有助于减少光污染。
- 以埋设的方式部署场内输电线路。
- 若风能设施位于生物多样性价值高的区域以内或其附近，和/或位于生物多样性价值高的鸟类有碰撞风险的区域，则在输电线路和气象桅杆拉线上安装鸟类飞行分流器。^{52,53}
- 电线杆采用“猛禽安全”设计，以降低触电风险。⁵⁴
- 对目前最先进的鸟类蝙蝠驱避手段进行评估，并考虑在适当情况下实施任何经证明有效的技术。

缓解措施（海上风电）

34. 海上风能设施生物多样性相关的缓解措施（包括缓解噪声的措施）如下：

- 若项目现场涉及到生物多样性价值高的物种，则应在规划施工活动时避开一年中的敏感时段（例如迁徙期和繁殖季节），且应在一年中鱼类产量较低的时段进行施工。

⁴⁷ 据了解，涡轮机本身就属于可吸引蝙蝠的物体。

⁴⁸ E.B.Arnett, 《改变涡轮机速度可降低风能设施导致的蝙蝠死亡率》，《生态与环境前沿》杂志9（4）：209 - 214,（2011）。

⁴⁹ R.E.Good等人, 《印第安纳州本顿县福勒岭风电场蝙蝠监测研究》，最终报告：2011年4月1日至10月31日，为福勒岭风电场编制（Bloomington: Western EcoSystems Technology, Inc., 2012）。

⁵⁰ J.L.Gehring等人, 《通信塔、灯光和鸟类：减少鸟类碰撞频率的成功之法》，《生态学应用》杂志19:505 - 514（2009）。

⁵¹ P.Kerlinger等人, 《北美风力涡轮机所导致的夜间迁徙动物的死亡率与障碍性照明》，《威尔逊鸟类学杂志》122:744 - 754（2010）。

⁵² 鸟类与电力线相互作用委员会（APLIC），《减少鸟类与电力线相碰撞：2012年的最新技术》（Washington, D.C.: Edison Electric Institute and APLIC, 2012）。

⁵³ APLIC 2012。

⁵⁴ 同上。

- 打桩时采取“软启动”程序，以防止海洋生物暴露于具破坏性的水下噪声与振动中，并使其有机会离开相关区域。此外，还建议在打桩过程中使用气泡帘。⁵⁵
- 采用螺旋打桩或其他固定风力发电机的方式，以减少传统打桩方式形成的干扰。
- 在浅水中采用单桩涡轮底座，与其他类型的底座相比，此类底座对海床的干扰较小。⁵⁶针对深水区域，则导管架等替代性底座或许更为合适。
- 施工期间，使用可发出声音的声学驱赶设备，阻止海洋生物进入施工区域。
- 若施工区域预计会有海洋哺乳动物或海龟等生物多样性价值高的物种出没，则应在开工前任命观察员。且至少应在500米开外进行施工。
- 铺设电缆时采用水力喷射技术或其他对环境破坏较小的技术。
- 若研究区域内存在对电或磁敏感的物种，则应在采取缓解措施时选择恰当的电缆类型、隔离装置以及电缆的埋设深度。

1.1.4 阴影闪烁

35. 太阳从风力涡轮机背后经过并投下阴影时，会出现阴影闪烁现象。涡轮机叶轮旋转时，阴影会经过同一个点，产生名为“阴影闪烁”的效应。若附近有潜在的敏感受体（例如住宅楼、工作场所、教学场所和/或医疗空间/设施），或其与风能设施之间有特定朝向时，阴影闪烁可造成一定困扰。

36. 阴影闪烁对于海上风能设施而言通常不属于严重问题，因为风力涡轮机和陆上潜在受体之间有一定距离。

37. 潜在的阴影闪烁问题在高纬度地区影响可能更大。这些地区太阳的高度角较低，可投射出较长的阴影，从而扩大了可能受阴影闪烁严重影响的半径范围。

38. 若项目附近存在相关受体，则可借助市面上可获取的软件对阴影闪烁进行建模，以确定潜在的阴影闪烁效应可延伸的距离。通常也可采用此类软件，对真实天气条件下可能受阴影闪烁影响的区域内特定受体遭遇这一影响的持续时长与时间点进行预测。

39. 若所确定的风能设施/涡轮机的施工位置无法避免邻近受体受阴影闪烁的影响，则建议以最坏场景为准，使得敏感受体受阴影闪烁影响的预计持续时长每年不超过30小时，且受影响最严重的一天每天不超过30分钟。^{57, 58, 59, 60}

⁵⁵ J.Nedwell等人，《评估海上风力涡轮机的海底声学噪声与振动及其对海洋野生动物的影响》；《海上风电场施工期间水下噪声的初步测量以及与背景噪声的对比》，COWRIE报告544 R 0424，（Southampton, UK: Subacoustech Ltd., 2003）。

⁵⁶ 海岬风力发电公司（CWA），《海岬风能项目环境影响声明草案》（2004）。

⁵⁷ 为评估是否符合所推荐的限值，应根据天文上的最坏场景对阴影闪烁进行建模和预测。最坏场景定义如下：

- 从日出到日落阳光光照一直持续，天空一直无云。
- 风力充足，使得涡轮机叶片不间断旋转。
- 涡轮机叶轮与阳光的入射方向相垂直。
- 忽略地平线以上小于3度的日照角（因为存在被植被和建筑物遮挡的可能性）。
- 叶轮的翼面和涡轮塔轴线之间的距离忽略不计。
- 不考虑大气中的光折射。

⁵⁸ 德国联邦污染防控委员会，《识别和评估风力涡轮机光发射的相关信息》（2002）。

⁵⁹ 2011年8月26日法国针对使用风力机械能的电力生产设施（须经授权的设施）所颁布的法令。

⁶⁰ 加拿大风能协会（CanWEA），《加拿大风能开发导论》（2011）。

40. 避免阴影闪烁产生严重影响的防控措施如下：

- 为风力涡轮机选择恰当的位置，以避免出现阴影闪烁现象，或满足上文所述之阴影闪烁持续时长的相关限制。
- 可对风力涡轮机进行编程，使其可在阴影闪烁超限时关闭。

41. 阳光以特定方向从叶片或涡轮塔反射时，可能造成叶片或涡轮塔闪光。此现象曾被视为对社区有潜在影响。但是，只要像典型的现代化风力涡轮机那样涂上亚光抗反射涂层，叶片或涡轮塔的闪光就不构成严重影响。

1.1.5 水质

陆上水质

42. 安装涡轮机底座、铺设海底电缆，以及出入通道建设等工作，可能导致侵蚀加剧、土壤板结、径流增加和地表水沉积作用。相关的防控措施，请见《通用 EHS 指南》和《收费公路EHS指南》。

海上水质

43. 安装涡轮机底座和铺设海底电缆时，可能会扰动海床，并导致水柱中悬浮沉淀物的数量短暂上升，从而导致水质下滑，且可能对海洋物种和商业性渔业或休闲渔业产生不利影响。此外，安装海上结构物时，可能因水流运动发生变化而导致局部海床侵蚀。进一步指导意见，请见《港口、港湾和码头EHS指南》。

44. 解决水质影响的其他防控措施如下：

- 选址过程中，考虑项目结构组件对商业性渔业或娱乐性渔业以及海洋物种栖息地的潜在干扰。
- 规划结构组件的施工、安装与拆除时，考虑到敏感的生命周期阶段。
- 限制使用喷射装置、气泡帘和沉积物捕集器。此类作业应在憩流中进行（或在将物料冲离敏感位置的潮流上进行）。

1.2 职业健康与安全

45. 一般来说，在陆上与海上风能项目的建设、运行与报废期间，存在的职业健康与安全危害与大多数大型工业设施和基础设施项目是相似的。这些危害包括诸如高空作业、限制性空间工作、旋转机械作业和高空落物之类的物理危害。有关预防并控制这些危害及其他物理、化学、生物和辐射危害的措施，请参见《通用EHS指南》。

46. 风能设施与相关活动中具有的职业健康与安全危害主要包括以下方面：⁶¹

- 高空作业
- 水面作业
- 偏远区域作业
- 吊装作业

⁶¹ 有关海上风力涡轮机建设、运行与维护期间的安全工作程序的整套综合性指南，请参见英国风能协会（BWEA）《BWEA简报：海上风能》（2005c）。

1.2.1 高空作业和高空坠物防护

47. 任何风能设施运行期间的所有阶段，都要求频繁进行高空作业，尤其是以维护为目的的高空作业。管理高空作业的重点应是防止人员坠落。但可能还需考虑其他一些危害，包括物体坠落和恶劣天气条件（风速、极端温度、潮度和湿度）。要管理高空作业，就需进行适当的规划且有充足的资源可分配。以下按优先次序列出了相关缓解办法：

- 消除或减少高空作业需求。对风能装置进行规划和设计时，应对具体任务进行评估，以便在可行时免去高空作业的必要性。这方面的例子包括结构物组装和辅助工程作业均在地面进行，并在可行且具成本效益的范围内将组装完整的结构物吊装到位。
- 若无法消除高空作业的必要性，则借助施工设备或采取其他方法防止坠落。使用针对个人的防坠落设备之前，应首先使用集体防护装置，例如边缘防护装置或护栏。此外，发生坠落时，可借助安全网或安全气囊将后果的严重程度降至最低。

48. 除了上述按优先次序采取的措施外，采用防止高空作业坠落事故和高空坠物事故的方法时，还应考虑以下几点：

- 确保所有结构物的设计与建造均符合适当的标准要求，⁶²且要确保安装了适当的高空作业系统。
- 若情况允许，则应在所有高空作业活动下方均设立并保有恰当的禁入区，以保护工人免受坠落物体伤害。
- 确保所有高空作业人员都经过了培训，具备使用所有高空作业设备和救援系统的能力。
- 为工作人员提供适当的工作定位设备系统。定位系统连接器必须与所连接的涡轮塔构件相兼容。
- 确保对起重设备的等级进行适当的检定，并对其进行维护，对操作人员进行适当培训。
- 高空作业期间，所有工具和设备均应尽量配备系索，且在可行情况下使用坠落防护网。
- 开展工作前，要把柱子或结构处的各种标志和其他障碍移走。
- 要使用经过批准的工具包为高空作业工作人员提升、降低工具或材料。
- 避免在恶劣的天气条件下进行涡轮塔的安装或维护工作，特别是在有雷击风险的情况下。
- 应制定紧急救援方案，详细说明高空作业人员被困或丧失行动能力时予以救援的办法。

1.2.2 水面作业

49. 开放水域作业相关的防控措施，除上文所述的高空作业基本原则外，还建议采取以下措施：

- 进行风险评估，针对所有水面作业任务制定安全作业制度，并为减轻危害分配适当的资源。
- 确保所有操作人员都接受了培训，可胜任其预计需承担的所有任务，且具备使用所有设备的能力，包括其预计需操作的个人防护装备（PPE）。
- 在有溺死风险的水面上作业或在相关水面附近作业时，除使用以上提及的标准个人防护装备外，还应使用经审批的浮力装备⁶³（例如救生衣、救生背心、漂浮线、救生圈）。
- 暴露于低水温时可能导致体温过低，须采用海上救生服等防控措施。
- 浮力设备与高空作业防坠落设备相结合使用时，两类装置应相互匹配。

⁶² 例如，国际电化学委员会（IEC），“IEC 61400”。

⁶³ 例如，ISO 12402 “个人漂浮设备”。

- 对工人进行躲避盐雾和海浪的培训。
- 必要时，提供适当的海上船只与合格的船舶操作人员和应急人员。

1.2.3 偏远区域作业

50. 在偏远区域进行作业，尤其是进行海上作业时，应通过事先规划确保员工的安全、健康与福祉。规划时需考虑以下内容：

- 可供工作人员使用的通信设备是否适用。
- 将前往偏远区域进行作业的人员接受了怎样的培训、具备怎样的工作能力，以及现场所有必要安全设备的就绪情况。
- 由有权力根据作业现场相关事件和条件做出决策的主管人员予以监督。
- 管理人员追踪作业人员确切位置时采用的手段。
- 制定现场应急计划。
- 在作业小组中安排具备恰当资质且接受了急救培训的人员。

51. 独自一人开展作业的进一步信息，请见《通用EHS指南》。

1.2.4 吊装作业

52. 吊装作业属于任何风能设施建设都有的一项内容。施工期间，各构件通常经组装后运输至总装现场。此时要求采用大型且复杂的起重设备多次吊装不同尺寸与重量的物件。

53. 陆上风电设施施工期间的吊装要求，与其他所有施工项目的吊装要求都类似。而海上吊装作业则可能极为复杂，需使用多艘船只以及多台起重机，从而可能造成大量额外的危害，具体包括：可能因海况影响吊装平台的稳定性；可能因海洋环境加快各部件吊装点受损；以及执行吊装作业时不同船只上多国船员之间的沟通问题。

54. 吊装作业需由能力胜任的人员予以管理，需进行周密的规划、有效的沟通，且作业期间需予以严格监督。具体应考虑以下事项：

- 确保了解所吊装物件相关的一应信息，例如尺寸、重量、吊装方法和吊点。
- 确保所有吊装设备（包括所吊装物件的吊点）均适用，能够承载所吊装物件的重量，且状态良好，接受了法律要求的所有检定。
- 确保所有监督人员、设备操作人员和吊装工人都接受了吊装设备以及待用吊装技术的培训，且具备相关能力。
- 若情况允许，则应设立并保有禁入区，防止任何未经授权的人员进入吊装区域。
- 起吊大型物件时，确保天气条件有利于完成任务。重型吊装设备的操作手册内通常含有安全操作参数，任何时候都不应超过此类参数。恶劣天气相关的进一步信息，请见《通用EHS指南》

55. 吊装作业相关各方应举行作业规划会议，会议内容应包括：吊装作业详情；相关各方的职责；以及各方之间传达指令的方法。

1.3 社区健康与安全

56. 陆上与海上风能设施建设、运营和报废过程中的社区健康与安全危害，与大多数大型工业设施和基础设施项目都类似。此类危害可能涉及项目基础设施的结构安全、生命安全和消防安全、公众出入安全以及紧急情况。这些危害相关的管理建议，请见《通用EHS指南》。

57. 风能设施特有的社区健康与安全危害主要包括：

- 叶片脱滑与冰雪甩出
- 航空安全
- 船舶导航与安全
- 电磁干扰与放射
- 公众接触
- 物件运输异常

1.3.1 叶片脱滑/冰雪甩出

58. 涡轮机叶轮出现故障，可能导致叶片整体或部分被“抛出”，从而危害公共安全。叶片脱滑的总体可能性极低。⁶⁴寒冷季节期间，某些天气条件下叶片上可能结冰，导致叶片运行过程中冰块从叶轮上甩出，或在涡轮机空转时从叶轮上掉落。

59. 风力涡轮机和邻近敏感地区之间须有一段可接受的距离（“退后距离”），以便在发生冰雪甩出或叶片故障时保障公共安全。

60. 叶片脱滑风险管理措施如下：⁶⁵

- 风力涡轮机和人口密集点之间应有一定的退后距离。据建模结果显示，叶片理论甩出距离可能因叶片的尺寸、形状、重量和速度以及涡轮机的高度而有所不同。⁶⁶但是，最小退后距离应为1.5 x 涡轮机高度（涡轮塔高度+叶轮半径）。因此，建议针对敏感的住宅地区保持满足噪声与阴影闪烁限值要求所需的最小退后距离，以便提供进一步保护。
- 选用经过了独立设计验证/认证（例如IEC 61400-1）且制造质量有监督保障的风力涡轮机，以此将叶片出现故障的可能性降至最低。
- 确保正确安装并妥善维护防雷电系统。
- 定期检测叶片并修复可能影响叶片完整性的任何缺陷。
- 为涡轮机配备对叶轮叶片不均衡性采取反应并在必要时关闭涡轮机的振动传感器。

61. 冰雪甩出风险的管理策略如下：

⁶⁴ 英国健康与安全执行局（HSE），《风力涡轮机相关人员风险与伤害评估方法的研究与开发》，RR968号研究报告，（2013）。

⁶⁵ CanWEA 2011。

⁶⁶ Rogers等人，2011年。

- 留出一定的退后距离。⁶⁷
- 在可能导致结冰的天气条件下停止风力涡轮机的运行。
- 为涡轮机配备冰雪探测器，在结冰时将涡轮机关闭至怠速状态。
- 若风力涡轮机需在结冰条件下运行，且位于不太可能对人员造成危害的偏远位置，则沿涡轮机周围所有方向、按至少一个叶轮直径的距离张贴警示标志。
- 为涡轮机配备控制叶片加热系统所用的冰雪探测器。该系统的作用是融化叶片表面的冰雪，从而保持涡轮机的效率。叶片的表面粗糙度也可能影响加热系统的效率。
- 在风能设施的入口处张贴警示标志。
- 确保在工作流程中纳入预防措施，例如在维护人员进入有结冰条件的现场前关闭风力涡轮机。

62. 除了应对在寒冷气候下运行对健康和安全造成的影响外，还有一大重点是涡轮机应规格恰当，才能实现可靠且长时间的运行。

1.3.2 航空

航空器的安全

63. 风力涡轮机叶片的最顶端高度可达200米，且随着技术的发展，未来可能还会超过这一高度。位于机场、军用低空飞行区或已知飞行路线附近的风能设施（包括测风杆在内），可能因潜在的碰撞或飞行路线改变而直接影响航空器的安全。

64. 应对上述影响的防控措施如下：

- 安装风能设施前，按照空中交通安全条例的要求，咨询相关航空管理部门。
- 若情况可行，则避免将风能设施选址在机场附近和已知的低空飞行区或飞行路线内。对涡轮机进行选址时，应考虑低空飞行区或飞行路线内或其附近因已有一定数量的风能设施而造成的累积影响。
- 在涡轮塔和/或叶片上使用防撞照明和标识装置，并咨询相关的航空管理部门，以便确定符合国家标准的、适当的照明和标识要求。若没有制定国家标准，则参考相关良好实践指南。⁶⁸

航空雷达

65. 雷达附近的风能设施可能会造成信号失真而对航空雷达的运行产生影响，使得雷达显示屏上的信号流失或显示错误信号，引发飞行安全问题。⁶⁹此类影响的根源在于涡轮塔/涡轮机和叶轮叶片的物理结构。⁷⁰在已有能源设施附近建设风能设施时，还应考虑对雷达造成的累积影响。

66. 针对上述影响的防控措施如下：

⁶⁷ 国际能源署（IEA），《风能专家组推荐做法研究：13》，[“寒冷气候下的风能项目”（Wind Energy Projects in Cold Climates）](#)，第1版，（2011）。

⁶⁸ 国际民用航空组织（ICAO），2012；CAA 2013；美国风能协会（AWEA）2008；CanWEA 2011。

⁶⁹ 加拿大无线电咨询委员会（RABC）和加拿大风能协会（CanWEA）（日期不详），《风力涡轮机与无线电通信和雷达系统之间的技术信息与协调过程》。

⁷⁰ 同上。

- 对风电场的设计选择进行考虑，包括几何设计、涡轮机的位置和对航空路线的改变。
- 考虑改变雷达的设计，包括重新布置受干扰雷达的位置、受影响地区的雷达消隐，或使用替代性的雷达系统来覆盖受影响的地区。⁷¹
- 为确定防控措施，应咨询相关的航空管理部门。

1.3.3 船舶导航与安全

海事安全

67. 与航空安全一样，若海上风力涡轮机靠近港口、港湾或已知航道，则可能因碰撞或迫使船舶航行路线变更而影响航运安全。施工期间船舶交通量加大，也会导致此类风险升级，可能导致涡轮机和/或船舶损坏，同时还可能因碰撞而发生污染危害。
68. 海上涡轮机、电缆路线和其他相关基础设施在选址时需谨慎考量，要考虑到锚泊地、海床条件、考古遗址、已有电缆或管道路线和渔场等因素，且须尽量减少相关影响。
69. 海上风力涡轮发电机可能干扰船舶导航的雷达操作，导致船舶无法被探测到，可能影响正常的航运操作。
70. 针对上述影响的防控措施如下：
- 安装前按照海上交通安全法规的要求，咨询海上交通监管部门。
 - 在可行情况下，避免将风能设施选址在港口附近和已知航道内。
 - 对涡轮机以及其他存在危害的所有物体使用防撞照明和标识装置。还应考虑使用护卫船只。照明和标识应与相关海事管理部门共同确定。
 - 施工期间可在每个涡轮机和每艘施工船周围建立安全区，最大限度减少对其他海洋用户的干扰。
 - 利用基准浮标辅助导航。

1.3.4 电磁干扰

71. 风力涡轮机可能对电信系统（例如微波、电视和无线电）造成电磁干扰。此类干扰可能因路径障碍、阴影、反射、散射或再辐射所致。⁷²这种潜在影响的性质主要取决于风力涡轮机相对于发射器和受体的位置、叶轮的特点、信号频率受体、特点，以及当地大气的无线电波传播特点。⁷³

电信系统

72. 针对电信系统，风能设施可能对广播系统和点对点系统产生影响。电信系统相关影响的防控措施如下：
- 改变风力涡轮机的位置，避免对点对点的通信系统造成直接的物理干扰。可通过咨询相关运营商确定电信链路的位置以及相关待用缓冲区的位置，以便将影响降至最低。
 - 安装定向天线。

⁷¹ 英国民航局（CAA），《风力涡轮机相关政策与指南》（CAP 7642013）。

⁷² RABC和CanWEA（日期不详）。

⁷³ D.Sengupta和T.Senior，《大型风力涡轮机选址手册：电视干扰评估外包报告终稿》（1983）。

- 更改现有天线。
- 安装放大器对信号进行放大。⁷⁴

电视

73. 针对电视广播所受影响防控措施如下：

- 把涡轮机设置在远离播送设备传输器信号范围之内的地方。
- 若在运行过程中检测出了干扰现象，则应安装高质量的或定向的天线。
- 把天线的方向转向其他选择性的电视信号传输器。
- 安装数字电视。
- 安装放大器。
- 搬迁天线。

1.3.5 公众接触

74. 公众与风力涡轮机或风电场变电站的接触（如在未经授权情况下攀爬涡轮机）可能会引发安全问题。应在开工前识别风能设施场地内以及附近所有公用道路，以便制定一切必要措施，保障此类道路使用者的安全。⁷⁵

75. 公众出入问题的防控措施如下：

- 在出入道路上安装大门。
- 若公用道路未延伸至风能设施现场和/或当前未有公用道路穿过设施现场，则考虑在风能设施现场或各涡轮机周围设置围栏，防止公众靠近涡轮机。
- 在变电站周围设置符合适当标准的围栏，并涂上防攀爬油漆、张贴警示标志。
- 防止攀爬涡轮塔的梯子。
- 设立有关公众安全危害和应急联络信息的信息栏。

1.3.6 异常负载运输

76. 《通用EHS指南》和《收费道路EHS指南》基本涵盖了风能设施选址时需考虑的交通运输问题。风能设施在这方面的主要挑战在于将超大或重型风力涡轮机构件（叶片、涡轮塔、机舱和变压器）以及起重机运输到场。对相关物流、交通和运输进行研究时，应评估对场外已有道路、桥梁、涵洞路口、立交桥/地下通道、转弯半径和公用设施的影响，以及是否需翻新、升级路面或是否需重新安置。为了减少对其他道路使用者造成的延误以及对拟建路线附近当地社区的潜在影响，应在高峰时段以外安排运送，且仅采用经审批的出入路线，必要时（例如在道路狭窄处）实行交通管控，阻止其他车辆通行，必要时还可提供警力护送。

⁷⁴ URS澳大利亚私人有限公司，《伍德劳恩风电场环境影响评估报告》（2004）。

⁷⁵ 欧盟，《欧洲风能开发最佳实践指南》（2002）。

2. 绩效指标监测

2.1 环境

2.1.1 废气排放和污水排放指南

77. 风能设施在运行过程中一般不会产生工艺排放与污水。如同具有公认管理框架国家的相关标准所反映的一样，这一领域的工艺排放与污水指导值是国际良好行业规范的反映。有关建设与报废过程中的空气排放、污水排放和固体废弃物方面的情况，请参见《通用EHS指南》。

2.1.2 噪声监测

78. 噪声影响不能超过《通用EHS指南》中规定的水平。

79. 但是，风电场产生的噪声可能会随着风速的增大而增大，总体的背景噪声也是如此，这是由于空气与现有景观的摩擦造成的。风速的增加可能还会遮盖风电场本身产生的噪声，风速和风向可能会对噪声传播的方向和程度造成影响。因此，在遵守噪声指导值，并对背景水平进行评估时，要对这些因素加以考虑。项目投入运营时，进行噪声合规性测试，属于一种良好做法，可对建模结果中附近物业暴露的噪声水平予以验证，且可确认所采用的任一缓解措施是否恰当。⁷⁶

80. 为了解决某些与风电场配置所产生脉冲或音调噪声（特定频率产生的声音）相关的滋扰因素，可能还需要进行其他考虑。⁷⁷

2.1.3 环境监测

81. 无论是在正常操作还是在异常条件下，该行业环境监测项目的执行都应当面向可能对环境产生重大潜在影响的所有生产活动。环境监测活动应当以适用于特定项目的废气、废水和资源利用的直接或间接指标为基础。

82. 环境监测应由受过系统训练的人员使用经正确校准的、维护良好的设备按照检测和记录程序进行。《通用EHS指南》中介绍了对废气废水监测的抽样和分析方法。

2.1.4 运行阶段的生物多样性监测

运行阶段的生物多样性监测（施工后监测）对于以下事项有着至关重要的意义：（1）确认所预测的鸟类或蝙蝠死亡率并记录意外死亡率；（2）促成风能设施适应性管理；（3）更好地预测同一地理区域内有更多涡轮机时所产生的影响；以及（4）为未来开发风能推动科学知识的进步。运行阶段生物多样性监测计划的范围与设计，应以相关场所、物种以及季节特定的风险为依据，且通过基线调查、影响评估和/或碰撞风险评估确定。

83. 应通过监测计划测量相关风能设施所致的鸟类与蝙蝠死亡率和分类明细，并衡量缓解措施的有效性，尤其是限制运行策略和按需关闭程序以及其他实验性缓解措施的有效性。可根据适应性管理模式加大、削

⁷⁶ 相关测量程序请见国际电声学委员会（IEC），《IEC 61400-11风力涡轮机——第11部分：声学噪声测量技术》（2012）。

⁷⁷ 一些司法管辖区在产生的噪声水平比预期水平超出 5 dB（A）的情况下，会予以“处罚”。

弱实施缓解措施的力度或取消实施，具体取决于其已经证明的有效性。监测计划应以开工前评估所定义的、需高度关注的物种为重心。⁷⁸

84. 评估蝙蝠和鸟类碰撞陆上风能设施所造成的影响时，通常要求在施工后搜索动物尸体。此类搜索应从风能设施启动运行之时起至少持续一到三年，具体取决于风能设施生物多样性风险的类型与程度，必要时可在高风险环境中加大搜索时长。

85. 进行施工后尸体搜索与评估时，应纳入当前的科学设计要素^{79,80,81}，以确保对风能设施鸟类和蝙蝠死亡率进行的估算既准确又可靠。此类要素示例如下：1) 针对搜索效率（动物尸体探测）偏差进行的校正；2) 针对动物尸体被食腐动物清除进行的校正；3) 针对未搜索区域进行的校正；4) 根据预期死亡率和食腐动物对动物尸体的清除率选择恰当的动物尸体搜索频率；⁸² 5) 根据项目规模和预期死亡率，酌情选择待搜索的涡轮机子样本；6) 根据基质是否可搜索和分析时需考虑的因素，确定被搜索涡轮机周边搜索区域的大小与格局。

86. 某些情况下，施工后监测还可能包括进一步调查鸟类和蝙蝠在整个项目区域的用途和移动模式，以便对动物尸体搜索所采集的数据起补充作用。

87. 若有多个风电场同时位于同一地理区域内，且靠近生物多样性价值高的区域，则建议风电项目开发商采取共用型施工后监测程序，以便对结果进行累积评估。共用型数据共享与报告机制，有助于简化这一评估过程。

88. 此外，还建议风电场开发商向各利益相关方提供施工后监测结果。

89. 应在时间和空间上对海上风能设施的参数进行监测，且覆盖底栖生物、哺乳动物和鱼类。此类参数可能包括：底栖动物（沉积物和底栖动物群）；硬质基质生境；鱼类；沙鳗（可影响沉积物特征的指示性物种）；鸟类和蝙蝠；以及海洋哺乳动物。

2.2 职业健康与安全

2.2.1 职业健康与安全指南

90. 若有国际上发布的事故统计数据可用，则应根据此类数据对职业健康与安全绩效进行评估。评估组织绩效的常用方法如下：

- 记录项目执行过程中发生的所有事故。
- 记录项目期间的未遂事故数据，以确定事故发生趋势并予以改进。
- 对工作场所和工人进行审核，以评估风险管理体系和工作场所安全文化的有效性。

⁷⁸ 见第27条第2项。

⁷⁹ 见Ledec（2011），附录D。

⁸⁰ F.Korner Nievergelt等人，《采用混合模型、根据协变量和动物尸体搜索结果估算风能涡轮机相关蝙蝠与鸟类的死亡率》，PLoS One 8（7）：e67997.doi:10.1371/journal.pone.0067997.（2013）。

⁸¹ M.M.P.Huso和D.Dalthorp，《估算风力涡轮机致死率时未搜索区域的相关处理方法》，《野生动物管理杂志》78:347-358（2014）。

⁸² Á. Camiña，《西班牙北部风电场的蝙蝠死亡率—需吸取的教训》，动物学博物馆和研究所，*Acta chiropterologica* 4(1): 205 - 212 (2012)。

- 开展问卷调查或定期举行安全会议，以此向工人征询反馈意见与建议。
- 将组织数据与所发布的本行业数据（如有）进行对比。

2.2.2 事故和死亡率

91. 项目管理的目标之一，应是保障项目工人（无论是直接雇佣还是间接雇佣的工人）事故为零，尤其是可导致误工、不同等级残疾甚至死亡的事故。事故率可参考已发布的数据来源，并按照发达国家本部门类似死亡率数据设定基准。

2.2.3 职业健康与安全监测

92. 要对具体项目工作环境的职业危险情况进行持续监测。作为职业健康与安全监测程序的一部分，要由经过认证的专家⁸³来设计和实施监测工作。风能设施管理者还应记录职业事故、疾病和危险事件事故。

《通用EHS指南》中介绍了职业健康与安全监测项目的其他指南信息。

⁸³ 经过认证的专家可能包括经过认证的工业卫生学家、注册职业卫生学家，或经过认证的安全性专家或相当专家。

3. 参考文献

- American Wind Energy Association (AWEA). 2008. Wind Farm Siting Handbook.
- . 2010. Airspace, Radar, and Wind Energy.
- Arnett, E. B. 2011. “Altering Turbine Speed Reduces Bat Mortality at Wind-Energy Facilities.” *Frontiers in Ecology and the Environment* 9(4): 209 – 214.
- Arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement.
- Australian Government National Health and Medical Research Council. 2010. Wind Turbines and Health. www.nhmrc.gov.au/guidelines-publications/eh57
- AusWEA (Australian Wind Energy Association). 2002. Best Practice Guidelines for Implementation of Wind Energy Projects in Australia.
- . 2004a. Wind Farm Safety in Australia. Fact Sheet.
- . 2004b. The Electromagnetic Compatibility and Electromagnetic Field Implications for Wind Farms in Australia. Fact Sheet. Avian Power Line Interaction Committee (APLIC). 2012. “Reducing Avian Collisions with Power Lines: The State of the Art in 2012” . Edison Electric Institute and APLIC. Washington, D.C.
- Band, B. 2012. Using a Collision Risk Model to Assess Bird Collision Risks for Offshore Wind Farms. British Trust for Ornithology.
- Bombace, G. 1997. “Protection of Biological Habitats by Artificial Reefs.” In Jensen, A.C. (Ed.) *European Artificial Reef Research Proceedings*. First EARRN Conference, Ancona, Italy. March 1996.
- Bowdler, D. and G. Leventhall, (Eds.). 2011. Wind Turbine Noise. Brentwood, Essex: Multi-Science Publishing.
- Brett Lane and Associates. 2005. *Interim Standards for Assessing Risks to Birds from Wind Farms in Australia*. Australian Wind Energy Association.
- British Wind Energy Association (BWEA). 1994. *Best Practice Guidelines for Wind Energy Development*.
- . 2005a. *Guidelines for Health and Safety in the Wind Energy Industry*.
- . 2005b. BWEA Briefing Sheet: “Wind Turbine Technology.”
- . 2005c. BWEA Briefing Sheet: “Offshore Wind.”
- . 2005d. BWEA Briefing Sheet: “Wind Power and Intermittency: The Facts.”
- Camina, A. 2012. “Bat Fatalities at Wind Farms in Northern Spain — Lessons to Be Learned.” *Museum and Institute of Zoology. Acta Chiropterologica* 14(1): 205 – 212.

- Camphuysen, K. 2004. *Towards Standardized Seabirds at Sea Census Techniques in Connection with Environmental Impact Assessments for Offshore Wind Farms in the U.K.* Collaborative for Offshore Wind Research Into the Environment (COWRIE).
- Canadian Wind Energy Association (CanWEA). 2011. “An Introduction to Wind Energy Development in Canada.” www.canwea.ca/pdf/canwea-sitingreport-e.pdf
- Cape Wind Associates, LLC (CWA). 2004. “Cape Wind Energy Project Draft Environmental Impact Statement.”
- Civil Aviation Authority (CAA). 2013. “Policy and Guidelines on Wind Turbines” (CAP 764).
- . 2012. “Lighting and Marking of Wind Farms and Meteorological Masts.”
- Code de la Santé Publique Livre III : Protection de la santé et environnement, Titre III : Prévention des risques sanitaires liés à l'environnement et au travail, Chapitre IV : Lutte contre la présence de plomb ou d'amiante et contre les nuisances sonores, Article R1334-30 et suivants: Créé par Décret n° 2006-1099 du 31 août 2006 relatif à la lutte contre les bruits de voisinage et modifiant le code de la santé publique 2006. *Journal Officiel* of 01 September 2006.
- Contra Costa County (California). 1996. Municipal Code (Wind Energy Conversion Systems), Article 88-3 Section 612.
- Convention on Biological Diversity (CBD). National Biodiversity Strategies and Action Plans (NBSAP) Search <http://www.cbd.int/nbsap/search/default.shtml>.
- Drewitt, A. L. and H. W. Langston. 2006. “Assessing the Impacts of Wind Farms on Birds.” *Ibis* 148 29 - 42.
- Duff, K. and M. Steward. 2008. “Turbine Carcass Search Methods and Carcass Removal Trials at the Braes of Doune Wind Farm.” Natural Research Technical Information Note 4.
- Elsam Engineering A/S. 2005. “Elsam Offshore Wind Turbines—Horns Rev Annual Status Report for the Environmental Monitoring Program,” January 1 - December 2004.
- Environment Canada. 2005. “Wind Turbines and Birds—A Guidance Document for Environmental Assessment,” Final Draft. Canadian Wildlife Service.
- Environmental Protection Agency (EPA). 2010. “Guidance Note on Noise Assessment of Wind Turbine Operations at EPA Licensed Sites” (NG3).
- Erickson, W. P. 2009. “Avian and Bat Monitoring Plan for Martinsdale Wind Farm.” Western Ecosystems Technology Inc.
- ETSU for the Department of Trade and Industry (DTI). United Kingdom. 1997. Report ETSU-R-97, “The Assessment and Rating of Noise from Wind Farms.”
- EUROCONTROL. 2010. “EUROCONTROL Guidelines on How to Assess the Potential Impact of Wind Turbines on Surveillance Sensors.”

- European Commission (EC) Guidance Document. 2011. “Wind Energy Developments and Natura 2000.” European Commission.
- European Union (EU). 2002. “European Best Practise Guidelines for Wind Energy Development.”
- European Wind Energy Association (EWEA). 2002. “European Best Practice Guidelines for Wind Energy Development.”
- . 2009. “Oceans of Opportunity: Harnessing Europe's Largest Domestic Energy Resource.”
- Federal States Committee for Pollution Control (Germany). 2002. Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen [Information on Identifying and Assessing the Optical Emissions from Wind Turbines]. www.gewerbeaufsicht.niedersachsen.de/
- Gardner, P., J. Phillips, O. Fitch-Roy, and P. Reynolds. 2013. *A Guide to UK Offshore Wind*.
- Gehring, J. L., P. Kerlinger, and A. M. Manville II. 2009. “Communication Towers, Lights, and Birds: Successful Methods of Reducing the Frequency of Avian Collisions.” *Ecological Applications* 19: 505 – 514.
- General Electric Energy. 2006. “Ice Shedding and Ice Throw – Risk and Mitigation.” Gipe, P. B. 1995. *Wind Energy Comes of Age*. New York: John Wiley and Sons.
- Good, R. E., A. Merrill, S. Simon, K. L. Murray, and K. Bay. 2012. “Bat Monitoring Studies at the Fowler Ridge Wind Farm, Benton County, Indiana.” Final Report: April 1 – October 31, 2011. Prepared for Fowler Ridge Wind Farm, Fowler, Indiana. Prepared by Western EcoSystems Technology, Inc. Bloomington, Indiana.
- Health and Safety Executive (HSE). 2013. “Study and Development of a Methodology for the Estimation of the Risk and Harm to Persons from Wind Turbines.” Research Report RR968.
- Hötker, H., K. M. Thomsen, and H. Jeromin. 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.
- Houck, D. R., M. J. Lawson, R. W. Thresher. 2012. “A Computational and Analytical Study of Bats Flying near Wind Turbines: Implications Regarding Barotrauma.” Oral presentation given at the National Wind Coordinating Committee, Wind-Wildlife Research Meeting IX, November 27 – 30, 2012, Denver, CO, USA.
- Howe, B., B. Gastmeier, and N. McCabe. 2007. “Wind Turbines and Sound: Review and Best Practise Guidelines.” HGC Engineering: Mississauga, Ontario.

- Hundt, L. 2012. *Bat Surveys: Good Practice Guidelines*, 2nd edition, Bat Conservation Trust.
- Huso, M. M. P. and D. Dalthorp. 2014. Accounting for Unsearched Areas in Estimating Wind Turbine-caused Fatality. *Journal of Wildlife Management* 78:347-358.
- International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities (IALA). 2004. *IALA Recommendation O-117 on the Marking of Offshore Windfarms*, Edition 2.
- International Civil Aviation Organization (ICAO). Annex 14, Volume 1.
- International Electrochemical Commission (IEC). 2012. IEC 61400-11 “Wind Turbines - Part 11: Acoustic Noise Measurement Techniques.”
- International Energy Agency. 2011. “Wind Expert Group Study on Recommended Practices: 13” (Wind Energy Projects in Cold Climates, 1st Edition).
https://ieawind.org/index_page_postings/June%20%20posts/task%2019%20cold_climate_%20rp_approved05.12.pdf.
- International Finance Corporation (IFC). 2012. “Performance Standard 6.”
- . 2012. “Performance Standard 8, Cultural Heritage.”
- . 2013. “Good Practice Handbook on Cumulative Impact Assessment and Management: Guidance for the Private Sector in Emerging Markets.”
- Institute of Acoustics (IOA). 2013. “A Good Practice Guide to the Application of ETSU-R-97 for the Assessment and Rating of Wind Turbine Noise.”
- Institute of Environmental Management and Assessment (IEMA) and Landscape Institute (LI). 2013. “Guidelines for Landscape and Visual Impact Assessment,” 3rd Edition.
- Irish Wind Energy Association. 2012. “Wind Energy Development Best Practice Guidelines.”
- Jackson, D. and P. Whitfield. 2011. “Guidance on Survey and Monitoring in Relation to Marine Renewables Deployments in Scotland.” *Birds*, Volume 4. <http://www.snh.gov.uk/docs/A585081.pdf>
- Jenkins, A. R., C. S. van Rooyen, J. J. Smallie, J. A. Harrison, M. Diamond, and H. A. Smit. 2013. “Best Practice Guidelines for Avian Monitoring and Impact Mitigation at Proposed Wind Energy Development Sites in Southern Africa.”
- Johnson, G. D., D. P. Young, W. P. Erickson, C. E. Derby, M. D. Strickland, R. E. Good, and J. W. Kern. 2000. “Wildlife Monitoring Studies.” Seawest Windpower Plant, Carbon County, Wyoming, 1995-1999. Final report prepared for SeaWest Energy Corporation, San Diego, California, and the Bureau of Land Management, Rawlins, Wyoming, by Western EcoSystems Technology, Inc. (WEST). Cheyenne, Wyoming.”
- Joint Nature Conservation Committee (JNCC). 2010. “The Protection of Marine European Protected Species from Injury and Disturbance.” Oct 2010.
- Kerlinger, P., J. L. Gehring, W. P. Erickson, R. Curry, A. Jain, J. Guarnaccia. 2010. “Night Migrant

- Fatalities and Obstruction Lighting at Wind Turbines in North America.” *The Wilson Journal of Ornithology* 122: 744 – 754.
- Köller, J., J. Köppel, W. Peters, (Eds.). 2006. *Offshore Wind Energy: Research on Environmental Impacts*. Berlin.
- Korner-Nievergelt, F., R. Brinkman, I. Niermenn, and O. Behr. 2013. Estimating Bat and Bird Mortality Occurring at Wind Energy Turbines from Covariates and Carcass Searches Using Mixture Models. *PLoS One* 8(7): e67997.doi:10.1371/journal.pone.0067997.
- Landscape Institute. 2011. “Advice Note: Photography and Photomontage in Landscape and Visual Assessment.”
- Laakso, T., I. Baring-Gould, M. Durstewitz, R. Horbaty, A. Lacroix, E. Peltola, G. Ronsten, L. Tallhaug, and T. Wallenius. 2003. *State-of-the-Art of Wind Energy in Cold Climates*. VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie.
- Ledec, G. C., K. W. Rapp, and R. G. Aiello. 2011. *Greening the Wind: Environmental and Social Considerations for Wind Power Development*. World Bank. <http://elibrary.worldbank.org/content/book/9780821389263>
- Lowther, S. 2000. “The European Perspective: Some Lessons from Case Studies.” Proc. National Avian-Wind Power Planning Meeting III, San Diego, CA, May 1998. National Wind Coordinating Committee, Washington, D.C.
- Maclean, I. M. D, L. J. Wright, D. A. Showler, and M. M. Rehfisch. 2009. “A Review of Assessment Methodologies for Offshore Windfarms.” British Trust for Ornithology Report Commissioned by Collaborative for Offshore Wind Research Into the Environment (COWRIE). <http://www.thecrownestate.co.uk/media/5884/ei-km-ex-pc-method-052009-a-review-of-assessment-methodologies-for-offshore-windfarms.pdf>
- Maclean, I. M. D., H. Skov, M. M. Rehfisch, and W. Piper. 2006. “Use of Aerial Surveys to Detect Bird Displacement by Offshore Windfarms.” BTO Research Report No. 446 to COWRIE. BTO, Thetford.
- Maritime and Coastguard Agency. 2008. “Offshore Renewable Energy Installations (OREIs) - Guidance on U.K. Navigational Practice, Safety, and Emergency Response Issues.”
- . 2012. “Offshore Renewable Energy Installations: Impacts on Shipping.”
- Masden, E. A., D. T. Haydon, A. D. Fox, R. W. Furness, R. Bullman, and M. Desholm. “Barriers to Movements: Impacts of Wind Farms on Migrating Birds.” *ICES Journal of Marine Science* 66 (2009), 746 – 753.
- Masden E. A., D. T. Haydon, A. D. Fox, R. W. Furness. 2010. “Barriers to Movement: Modelling Energetic Costs of Avoiding Marine Wind Farms amongst Breeding Seabirds.” *Marine Pollution Bull.* 60: 1085 – 1091.
- McLaughlin, D. 2012. “Wind Shear and Its Effect on Wind Turbine Noise Assessment.” *Acoustics Bulletin*, July/August 2012, 39 – 42.

- Minnesota Department of Commerce: Energy Facility Permitting. 2011. “International Review of Policies and Recommendations for Wind Turbine Setbacks from Residences: Setbacks, Noise, Shadow Flicker, and Other Concerns.”
- National Association of Regulatory Utility Commissioners (NARUC). 2011. “Best Practices Guidelines for Assessing Sound Emissions from Proposed Wind Farms and Measuring the Performance of Completed Projects.”
- National Wind Coordinating Collaborative (NWCC). 1999. “Methods for Studying Energy/Bird Interactions. A Guidance Document.”
- . Siting Committee. 2002. “Permitting of Wind Energy Facilities. A Handbook.”
- . 2007. *Mitigation Toolbox*.
- Natural Resources Canada. 2003. “Environmental Impact Statement Guidelines for Screenings of Inland Wind Farms under the Canadian Environmental Assessment Act.”
- Nedwell, J., J. Langworthy, and D. Howell. 2003. “Assessment of Sub-Sea Acoustic Noise and Vibration from Offshore Wind Turbines and Its Impact on Marine Wildlife; Initial Measurements of Underwater Noise during Construction of Offshore Wind Farm, and Comparison with Background Noise.” COWRIE Report 544 R 0424 (May 2003). Subacoustech Ltd.: Southampton, UK.
- Ontario, Ministry of the Environment. 2004. “Interpretation for Applying MOE Technical Publication to Wind Turbine Generators.”
- OSPAR Commission. 2008. “Guidance on Environmental Considerations for Offshore Wind Farm Development.”
- Pearce-Higgins, J. M. 2009. “Distribution of Breeding Birds around Upland Wind Farms.” *Journal of Applied Ecology*.
- Radio Advisory Board of Canada (RABC) & Canadian Wind Energy Association (CanWEA). “Technical Information and Coordination Process between Wind Turbines and Radio Communication and Radar Systems.”
- Renewable U.K. 2013. “Guidance on Low-Flying Aircraft and Onshore Tall Structures Including Anemometer Masts and Wind Turbines.”
- Rodrigues, L., L. Bach, M. J. Dubourg-Savage, J. Goodwin, and C. Harbusch. 2014. “Guidelines for Consideration of Bats in Wind Farm Projects.” *EUROBATS Publication Series No. 6* (English version). UNEP/EUROBATS Secretariat, Bonn, Germany. http://www.eurobats.org/sites/default/files/documents/publications/publication_series/pubseries_no6_english.pdf
- Rollins, K. E., D. K. Meyerholz, G. D. Johnson, A. P. Caparella, S. S. Loew. 2012. “A Forensic Investigation into the Etiology of Bat Mortality at a Wind Farm: Barotrauma or Traumatic Injury?” *Veterinary Pathology* 49:362 – 371.

Scottish Enterprise and The Crown Estate. ” A Guide to UK Offshore Wind Operations and Maintenance ” (2013). <http://www.scottish-enterprise.com/knowledge-hub/articles/guide/offshore-wind-operations-and-maintenance-opportunities>

Scottish Natural Heritage (SNH). 2000. “Guidance: Wind Farms and Birds – Calculating Theoretical Collision Risk Assuming No Avoiding Action.”

附录A. 行业活动概述

94. 风能设施以利用天然风并将其转化为电能为基础。此类设施可位于陆上，也可位于海上。决定某场地拟建风能设施的可行性与存活力的主要因素，在于是否存在良好的风力资源。需开展产能率评估，对所预测的能量产出和随之而来的收益进行估算。决定某场地是否适合建设风能项目的其他重要因素包括：环境和社会影响；建设和运营成本；为了按商业上合适的价格出售电力而达成协议；以及能否连接有足够容量的电网。

95. 与其他行业领域一样，风能项目的生命周期包括风力资源评估、环境和社会影响评估、建设、运行、维护和报废几个阶段。建设阶段的活动通常包括：出入道路的施工或升级；现场准备（例如建设出入小路和涡轮机底座）；以及项目构件（例如风力计、风力涡轮机、变压器、变电站）的运输与安装。报废工作取决于相关场地后续规划的用途，但通常包括拆除基础设施（例如涡轮机、变电站、道路），以及将项目场地恢复至项目建设前的状态。下面的部分对陆上和海上风能项目建设与运行中都存在的设施与活动进行了说明。

A.1 陆上与海上风能设施都存在的设备与活动

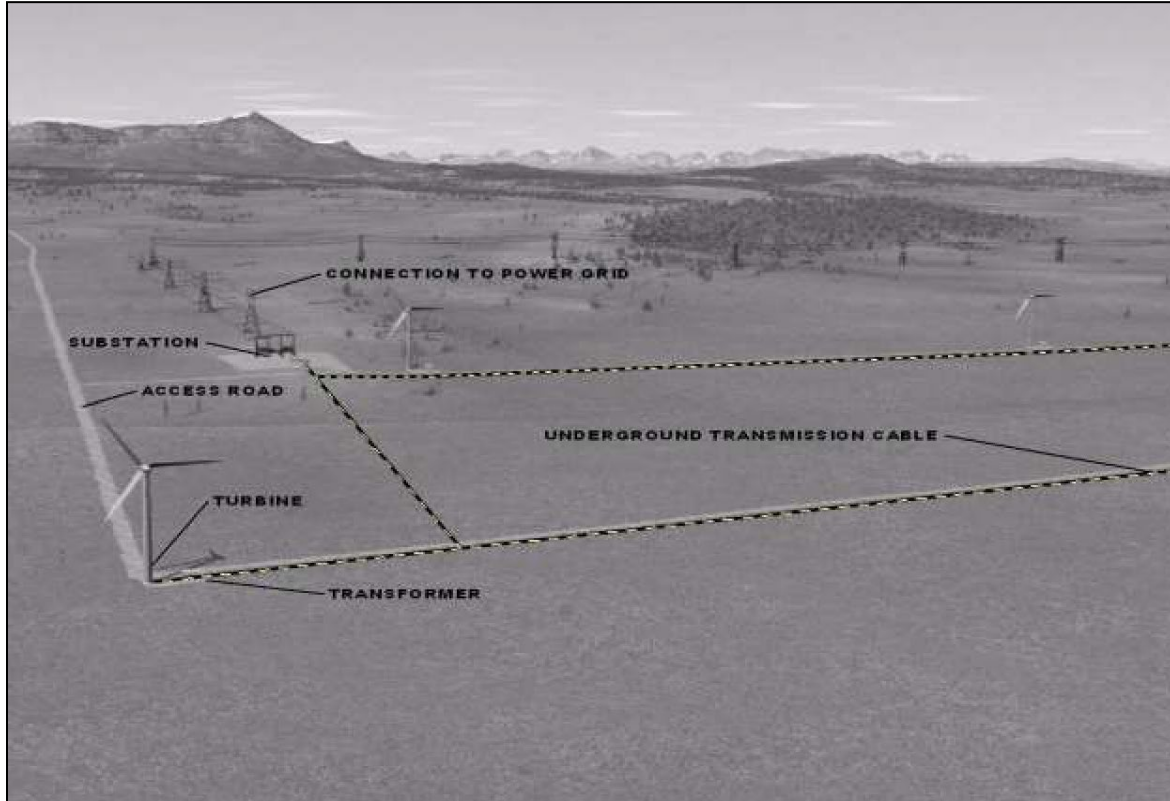
96. 风能项目的结构构件包括：风力涡轮机；变压器；各风力涡轮机之间的地下或地上集电传输电缆；变电站；接入现有电网的地上输电线；以及出入道路（图A-1）。各风力涡轮机之间的间距要在最大限度减少土地使用面积的同时最大限度提高能量产出。

97. 风力发电机组属于风电项目的基本构件，负责对风能加以利用并将其转化为极具实用价值的电能。涡轮机叶轮直径和涡轮塔高度越大，发电能力和效率就越强。

98. 涡轮机由底座、涡轮塔、机舱、叶轮、叶轮轮毂和照明装置组成（图A-2）。

99. 涡轮塔主要呈锥形圆柱体，一般由钢制成，且通常采用白色或灰白色油漆涂装。但也可根据各国的具体要求，为保障空中交通与海上交通安全（就海上风能设施而言）而采用不同颜色的油漆进行标识。

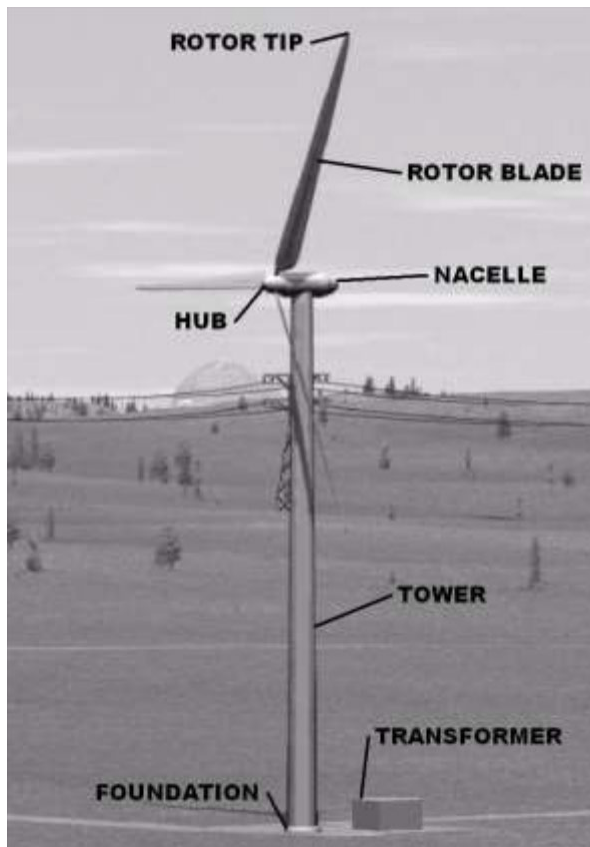
图A-1: 陆上风能设施常见的构件



图A-1

English	Translation
CONNECTON TO POWER GRID CONNECTON TO POWER GRID	接入电网
SUBSTATIONSUBSTATION	变电站
ACCESS ROADACCESS ROAD	出入公路
TURBINETURBINE	涡轮机
TRANSFORMERTRANSFORMER	变压器
UNDERGROUND TRANSMISSION CABLE UNDERGROUND TRANSMISSION CABLE	地下输电电缆

图A-2: 风力涡轮机常见的结构部件



图A-2

English	Translation
ROTOR TIP	叶轮顶端
ROTOR BLADE	叶轮叶片
NACELLE	机舱
HUB	转轴
TOWER	涡轮塔
TRANSFORMER	变压器
FOUNDATION	地基

100. 随着风速的加大，叶轮叶片开始旋转。这种旋转带动机舱内的发电机转动，从而将部分风能转化为电能。大多数风力涡轮机都在约3米至4米/秒（10.8至14.4公里/小时（km/h））的风速下开始发电，在约12米/秒（43公里/小时）的风速下达到最大发电量，并在风速约25米/秒时为防止损坏而关闭。⁸⁴叶尖速度最大可达90米/秒（320公里/小时）左右。风大时，主要可采取以下三种方式限制叶轮的功率：失速控制、变桨控制和主动失速控制。采取失速控制时，借助叶轮叶片的气动外形调节叶轮功率。按照叶轮叶片的气动外形设计，大风期间，受失速控制的叶片开始在高于预设功率极限的情况下失速。采取变桨控制时，叶轮叶片的节距角可变化至最大90°，以便最大限度捕获吹来的风。一旦达到功率极限，节距角便出现变化，使得

⁸⁴ BWEA 2005b。

能量从叶轮溢出。主动失速控制属于失速控制和变桨控制的组合。采取这种控制方法的风力涡轮机，其叶片设计类似于失速控制的叶片，但同时又仍然能够通过转动调节节距角。20世纪90年代之前，被动失速调节一直属于首选策略，但目前变桨调节属于限制大型涡轮机叶轮功率的首选手段。

101. 风能的量与风速的立方成正比。也就是说，风速翻倍时，风能的量即可达到之前的八倍。涡轮机通常在其运行的70%到85%的时间都在发电。⁸⁵但涡轮机的发电量不会以同样的比例变化，而是大致与风速的平方成正比。风力涡轮机产生的电力通常电压为700伏，不适于进行电力传输。⁸⁶因此，每座涡轮机都使用变压器对所生产的电进行“升压”，使其达到风电场集电系统传输要求的电压（例如11千伏）。集电系统与变压器相连接，由变压器将电压升至适于接入公用变电站的水平。地下或地上传输电缆可将涡轮机变压器与变电站相连接，也可将变电站与电网相连接。涡轮机变压器可逐个与变电站相连接，也可以是各涡轮机之间先相互连接，再连接至变电站，具体取决于项目的布局。

102. 风力涡轮机的设计寿命约为20年，但实践中若进行了妥善维护，则可能使用寿命更长。

103. 风力涡轮机整个使用寿命内均应进行日常维护。必要时，维护活动可能包括涡轮机和叶轮维护、零部件润滑、发电机全面检修以及电气部件维护。

104. 风能设施的运行和维护通常不产生大气排放物或污水排放。常见维护活动所产生的废液和其他废料，通常不在现场储存，而是按照适当的地区或国家法规和/或最佳管理实践予以处置。

A.2 海上风能设施特有的设备

105. 海上风能设施的结构构件和操作与陆上风能设施类似。海上与陆上涡轮机之间的主要区别在于涡轮机的尺寸、涡轮塔的高度和叶轮叶片的直径。还有一大区别，即海上风能设施通常采用（海底和陆地的）地下电缆将电力从涡轮机传输至变压器，再从变压器传输至陆上变电站（图A-3）。

106. 海上风能设施的涡轮塔等结构物与陆上风能设施类似，但采用不同的方法使得结构物能够适应海洋环境，包括：在金属部件表面喷涂涂层，保护其免受腐蚀；使用密封机舱；底座/涡轮塔具备不同的设计，目的是应对风浪、洋流、潮汐和海床产生的相互作用（图A-1）；以及提供专门的检修出入平台。

107. 海上风力涡轮机建设的常见活动包括：建设涡轮机底座；涡轮机部件的海上运输；组装涡轮塔；将机舱和叶轮吊装至风力涡轮塔上方；以及组装叶轮/机舱。

108. 海上风力涡轮机上可以采用的地基类型和相关应用包括以下方面：

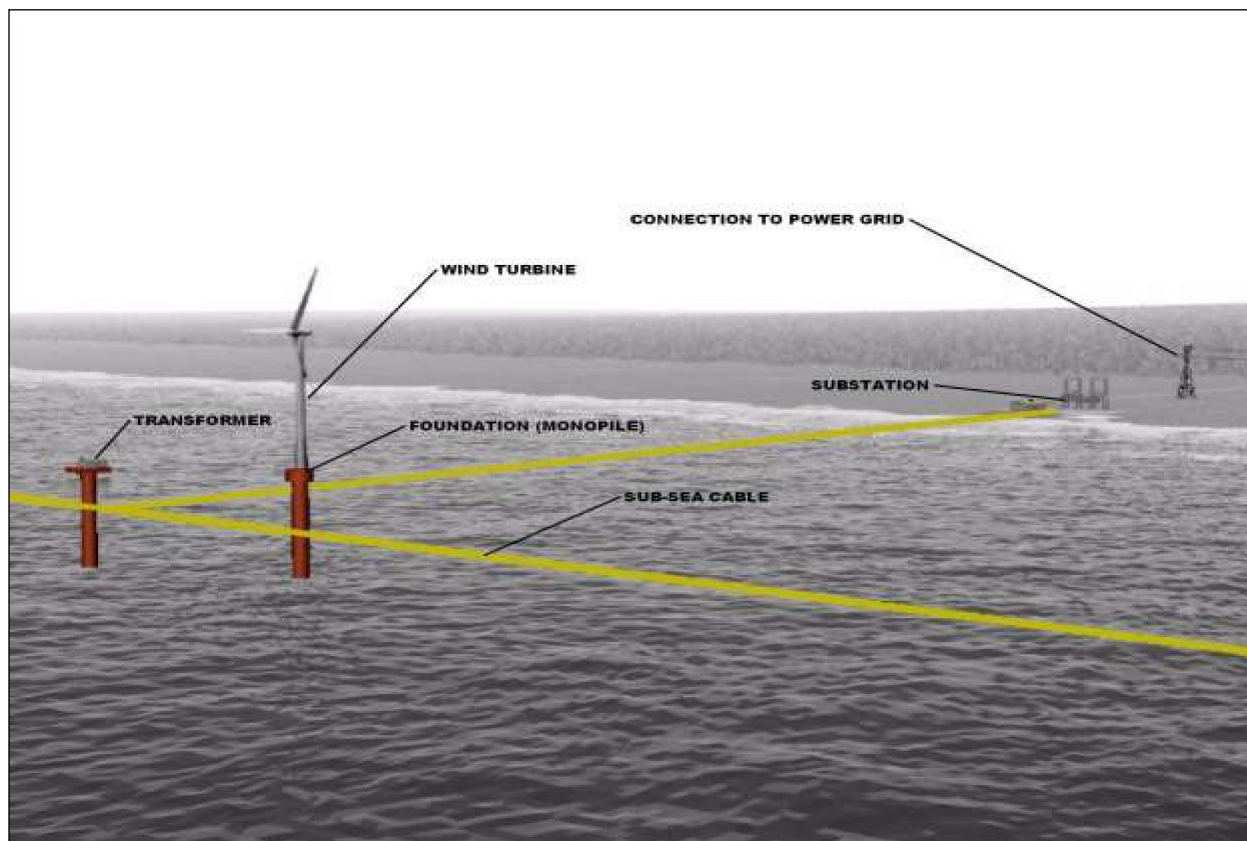
- 单桩式：适用于大多数情况，适宜在浅水区和不太深的软性材料下使用。
- 三桩式：适用于大多数情况，适用于不太深的软性材料，适合水深在30米以上。
- 混凝土重力地基：几乎适用于所有沉积条件。
- 钢重力地基：几乎适用于所有的沉积条件，适合水深比混凝土地基要深。
- 单吸式沉箱：沙子、软质粘土条件。
- 多吸式沉箱：沙子、软质粘土条件；适合水深比单吸式沉箱深。

⁸⁵ BWEA 2005d。

⁸⁶ BWEA 2005b。

- 漂浮式：适用于深达100 米的地区。

图A-3：海上风能设施的典型构件



图A-3

English	Translation
CONNECTION TO POWER GRID	接入电网
WIND TURBINE	风力涡轮机
TRANSFORMER	变压器
FOUNDATION (MONOPILE)	地基（单桩式）
SUB-SEA CABLE	海底电缆
SUBSTATION	变电站