

风能领域的环境、健康与安全指南

前言

《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》。本《EHS指南》是针对具体行业，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：<http://www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/Content/EnvironmentalGuidelines>

《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就能实现的指标和措施。在对现有设施应用《EHS指南》时，可能需要制定具体针对该场所的指标，并需规定适当的达标时间表。

在应用《EHS指南》时，应根据每个项目确定的危险和风险灵活处理，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、环境的吸收能力）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。

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

《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。附件A包括的是对这一领域行业活动的完整说明。有关输电线路运作的EHS问题，请参见《电力转移与分配领域的EHS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 指标与监测
- 3 参考文献和其他资料来源

¹ 定义是：熟练而有经验的专业人员在全球相似情况下进行同类活动时，按常理可预期其采用的专业技能、努力程度、谨慎程度、预见性。熟练而有经验的专业人员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、不同程度的环境吸收能力、不同程度的财务和技术可行性。



附录 A 行业活动的通用描述

1 具体行业的影响与管理

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。

1.1 环境

风能项目的建设活动一般包括为现场作准备和对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；并对新设备进行试车。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。

与这些建设和报废工作有关的环境问题包括噪声与振动、土壤侵蚀、生物多样性威胁，包括对生境造成改变和对野生动植物产生影响。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。《通用 EHS 指南》的环境建设与报废部分提供了对这些 EHS 问题进行管理的建议。

与风能项目和设施的运作有关的环境问题包括以下方面：

- 视觉影响
- 噪声
- 物种的死亡、伤害与干扰
- 照明问题
- 生境改变
- 水质

视觉影响

根据所处的位置和当地公众的看法，风电场可能会在视觉方面产生一定的影响。与风能项目有关的视觉影响一般是涉及到涡轮机本身（如颜色、高度和涡轮机的数目），以及涡轮机与周围景观特点相互作用产生的影响。

解决并控制视觉影响的措施包括以下方面¹：

- 就风电场的位置与当地社区进行磋商，在设计时对社区价值加以考虑；
- 在选择涡轮机位置时，对景观特点加以考虑；
- 在选址时，需从所有相关视觉角度对涡轮机的视觉影响进行考虑；
- 通过避免围挡、减少道路、埋设内部输电线路，以及撤掉不起作用的涡轮机等方式，减少风电场内存在的辅助设施；
- 避开陡坡，实施腐蚀度量措施，并在清理出来的空地中用当地物种进行补种；
- 保持涡轮机的统一大小和设计（如旋转方向、涡轮机和塔的类型，以及高度等）；
- 把涡轮机刷成统一的颜色，一般要与天空相衬（浅灰色或淡蓝色），同时遵守航海与航

¹ Gipe (1995 年)。



空导航标记规定；

- 避免在涡轮机上出现字母、公司标记、广告或图形。

噪声

风力涡轮机在运作时会产生噪声，这些噪声主要来自机械与空气动力活动。机械噪声主要是发动机产生的，空气动力噪声则主要是由涡轮叶片和塔周围的空气运动产生的。空气动力噪声类型可能包括低频噪声、低频脉冲噪声、音调噪声，以及持续的宽频带噪声。另外，随着涡轮机叶片旋转速度的增加，噪声的量也会增加，因此在风力较大情况下设计旋转速度较慢的涡轮机可以限制所产生的噪声量。

预防并控制噪声的措施主要与技术设计标准相关联。例如：宽频带噪声是由叶片后面的空气湍流产生的，并且会随着叶片转速的增大而增大。可以通过使用变速涡轮机或带旋角的叶片来降低旋转速度，从而对产生的噪声进行控制。

其他的建议管理措施还包括：

- 适当选择风电场的位置，避免与敏感的噪声受体相接近（如居住区、医院和学校）；
- 严格遵守有关风力涡轮机的国家或国际声响设计标准（如国际能源署、国际电工委员会 [IEC] 和美国国家标准学会）。

物种的死亡、伤害与干扰

陆上

陆上风力涡轮机的运作可能会造成鸟类与蝙蝠碰撞到风力涡轮机的转子叶片和塔上，有可能导致鸟类和蝙蝠的死亡或受伤。由于风电场项目地点生境的变化，对鸟类具有的潜在间接影响可能包括捕食物种数量与类型的变化，并且由于自然生境发生变化或鸟类使用风力涡轮机，还会造成栖息与筑巢地点的类型与数目变化¹。

对鸟类和蝙蝠的影响取决于项目的规模及包括技术考虑等其他因素（如塔的尺寸和涡轮设计）、风力涡轮机的照明，以及风电场的设计等。另外，现场的特点也可能会对这种效应产生影响，包括风电场地点的物理与景观特点（如与可能有鸟类、蝙蝠或其捕食动物集中生境的接近距离）、穿行风电场地点的鸟类与蝙蝠数目、鸟类（飞行高度）和蝙蝠（迁移路线）的风险性行为，以及气象考虑等。

建议采取以下措施来预防和控制措施来解决这些影响问题：

- 进行场址选择，对鸟类与蝙蝠高度集中的已知迁徙路线或地区进行考虑。这些高度集中的地区可能包括湿地、指定的野生动植物避难所、集结地、群居地、蝙蝠冬眠区、栖息地、山脊、河谷，以及河边地区等；
- 对涡轮机的分布进行适当配置，避免造成鸟类致死的潜在可能性（如集中配置涡轮机，而不要大范围的分散开，或在与已知鸟类移动线路相平行的线路上成排的配置涡轮机）；
- 实施适当的雨水管理措施，避免造成鸟类的聚集，如风电场旁边吸引鸟类和蝙蝠觅食或

¹ NWCC（1999年）。



筑巢的小水塘。

海上

海上风电场运作产生的噪声一般不会把海洋鱼类和哺乳动物从项目地点赶走。而海上风力涡轮机和水下电缆的安装或撤除工作则可能会对鱼类、海洋哺乳动物、海龟和海鸟造成临时性的干扰。这种干扰可能是由直接的视觉、听觉或振动影响造成的，也有可能是在海床受到影响的情况下由于水柱沉淀水平增加而间接造成的。

解决这些影响的措施取决于当地的生境特点，这些措施包括：

- 在“打桩”工作中采用‘平稳启动’程序，以有助于防止鱼类、海洋哺乳动物和海龟暴露在具有伤害性的噪声水平当中，同时为这些动物提供离开相关地区的机会；
- 铺设电缆时使用水力喷射技术。与传统技术相比，一般认为这种技术具有较低的环境影响性；
- 采用单极涡轮底座，与其他底座形式相比，这种形式对海床的干扰最小¹。

与陆上风电场类似的是，海上风力涡轮机也存在因碰撞而产生的鸟类致死与受伤风险。建议采取以下措施预防、控制并减少海鸟的碰撞风险：

- 适当选址，避开高密度的鸟类使用区，包括迁徙路线；
- 把涡轮塔的高度控制在候鸟迁徙路线的典型高度以下；
- 在转子叶片和海平面之间保持适当的距离，避免对接近海平面的鸟类活动造成干扰；
- 使用慢转式转子叶片，以增加可见度²。

照明问题

阳光照到风力涡轮机上形成阴影时就会发生阴影闪烁现象。随着转子叶片的转动，阴影通过同一个点就会造成阴影闪烁情况。当附近有居住区或与风电场保持特殊位置的情况下，阴影闪烁情况就形成了问题。

与阴影闪烁类似，阳光在特定角度照到叶片或塔上也会造成叶片或塔的闪烁现象。由于转子叶片反射的太阳光可能会导向附近的居民区，因此这可能会对社区造成影响。叶片闪烁是只有新涡轮机才出现的临时现象，一般叶片在运行几个月被弄脏之后就没有这种现象了。

建议采取以下预防与控制措施来消除这些影响：

- 适当选择风力涡轮机的地点，避免在窄频带之内有居民区，一般是在涡轮机的西南方和东南方出现阴影闪烁的频率较高。可以用商业性建模软件来确定闪烁‘区’，从而可以适当选择风电场的位置；
- 采用非反射性涂层对涡轮塔进行涂刷，以避免涡轮塔发生反射。

生境改变

陆上

由于陆上风电场设施内的人员活动较少，与陆上风力涡轮机的建设与操作相关的陆地生境

¹ CWA (2004 年)。

² CWA (2004 年)。



改变的可能性也非常有限。《通用 EHS 指南》中对避免和减少这些影响的措施进行了说明。但是，在偏远地点为风电设施选址而建设的出入通道可能会产生额外的陆地生境改变风险。有关预防与控制有关建设与运作公路基础设施影响的其他指南，请参见《公路 EHS 指南》。

海上

由于要对海底进行挖掘，因此建设海上风力涡轮机底座可能会造成现有海洋生境的丧失。尽管由于这些活动中的人为因素非常有限，因而其负面影响也较低¹，但是根据风力涡轮机位置的不同，仍然可能会导致关键生活周期（如产卵、抚养）、休养或商业性渔业生境的丧失。此外，风力涡轮塔和底座的水下部分可能会提供一种新的底土层（人造生境），从而会造成某些特定海洋物种的聚居。涡轮机底座可能还会为海洋鱼类和其他生物群创造一个新的庇护生境²。

可以通过适当地把涡轮机位置选择在环境敏感区之外来避免或减少相关的潜在负面影响。

水质

陆上

安装涡轮机底座、海底电缆，以及建设出入通道等工作可能会加大地表水的侵蚀和沉降。有关预防并控制地表水侵蚀和沉降的相关措施，请参见《通用 EHS 指南》和《公路 EHS 指南》。

海上

安装涡轮机底座和海底电缆可能还会对海床造成干扰，可能会临时性地增加水柱中的悬浮沉淀物，从而降低水质，并可能会对海洋物种和商业性渔业或休闲渔业产生负面影响。

解决这些影响问题的预防与控制措施包括以下方面：

- 对于涉及到商业或休闲渔业和海洋物种生境的项目，实施地址选择程序，同时对项目结构性部件可能产生的潜在干扰性加以考虑；
- 对安装结构性部件进行规划，对敏感性的生活周期加以考虑；
- 在适当情况下采用淤泥屏障，抑制水底施工造成的浑浊度。

1.2 职业健康与安全

一般来说，在陆上与海上风能转换项目的建设、运作与报废期间，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》。

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³：

- 高空作业
- 水面作业

¹ CWA（2004 年）。

² 研究表明：人造海底结构可能会降低鱼类物种的死亡率，增加食品供应，并提供庇护场所（Bombace，1997 年）。

³ 有关海上风力涡轮机建设、运作与维护期间的安全工作程序的整套综合性指南，请参见 BWEA（2005 年）。



高空作业

在建设活动中可能需要进行高空作业，包括在操作中对风力涡轮塔的部件进行组装，并进行综合性的维护工作。建议采用以下措施预防并控制与高空作业有关的危害：

- 开展工作前进行结构完整性测试；
- 实施防坠落保护计划，包括攀爬技术和使用防坠落保护措施的培训；检查、维护、和更换防坠落保护设备，并对发生坠落事故的工作人员进行救援；
- 制定对防坠落保护措施进行 100%利用的标准（根据工作性质，一般是在离地面 2 米以上工作时，但有时也可延长到 7 米）。防坠落保护系统要适用于相关的框架结构以及必需的移动情况，包括上升、下降和点到点的移动等；
- 在桥梁构件上安装固定装置，以便对防坠落保护系统加以使用；
- 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；
- 安全带的宽度不得低于 15.8 毫米（mm）（5/8 英寸），由二合一尼龙或具有相当强度的材料制成。要在出现老化现象或纤维出现明显磨损之前对绳索安全带进行更换；
- 在高空使用电力工具时，要为工作人员配备第二条（备用）安全带；
- 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。

水面作业

除了上述与开放式水面作业防控措施相关的基本原则之外，还建议采取以下措施：

- 开展工作前，针对水、风和天气条件制定风险评估和管理规划；
- 在具有溺死危害的水面上作业或在相关水面附近作业时，要使用经过批准的浮力设备（如救生衣、防护衣、漂浮线、救生圈等）；
- 适当选择水面作业地点，避免受到盐雾侵蚀和接触到海浪；
- 提供适当的海上船只与合格的船舶操作人员和应急人员。

1.3 社区健康与安全

陆上与海上风能项目在建设、运作和报废过程中具有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是相似的。这些危害包括项目基础设施的结构安全、生命与火灾安全、公众开放性和紧急情况，有关这些危害的相关管理建议，请参见《通用 EHS 指南》。

风能设施具有的社区健康与安全危害主要包括以下方面：

- 航空与航海导航安全
- 叶片脱滑与冰雪甩出



- 电磁干扰与放射
- 公众接触

航空与航海导航安全¹

风力涡轮机叶片的最顶端在高度上可能会超过 100 米。如果风电场位于机场或已知的飞行路径上，则可能会因为发生碰撞或改变飞行路径而对飞行安全产生直接的影响。同样，如果风电场位于港口、海港，或已知的海洋航路上，也可能因为发生碰撞或改变船舶航行路线而对海运安全产生影响。

解决这些影响的预防与控制措施包括以下方面：

- 按照航空与海运交通安全规定的要求，在安装之前与航空和海运交通管理部门进行协商；
- 在适当情况下，避免把风电场建在临近机场或港口以及飞行路径或海洋航路已经明确的地方；
- 在涡轮塔和叶片上使用预防发生碰撞的照明和标志系统。

叶片脱滑与冰雪甩出

虽然只有在寒冷的气候条件下才具有冰雪被甩出的风险，而且叶片脱滑的总体风险也非常低，但是在转子叶片发生故障或叶片上冰层越增越厚的情况下，也可能造成叶片和冰雪从风力涡轮机上被‘甩出’^{2, 3}。

建议采取以下叶片脱滑管理策略：

- 规定安全退后距离，并对风电场进行适当的设计、选址，在叶片可能的甩出范围内不要有建筑物和人口聚居区。虽然这个安全退后范围可能会根据涡轮机大小、形状、重量、转子速度和高度的不同而不同，但是一般不会超过 300 米^{4, 5}；
- 为涡轮机配备对转子叶片不均衡性采取反应并在必要情况下关闭涡轮机的振动传感器；
- 对风力涡轮机进行定期维护；
- 使用警告标准对公众进行风险提示。

相关的冰块甩出管理策略包括¹：

- 在冰雪累积期间对涡轮机的运作进行限制；
- 在所有方向上，至少在距风力涡轮机 150 米的地方张贴警告标志；
- 为涡轮机配备加热器和冰雪探测器；
- 在涡轮塔上使用耐寒的钢；

¹ 有关国际海运导航安全标记指南的情况，请参见 IALA (2004 年) 的资料。有关航空导航安全标记的例子，请参见 CASA (2004 年) 的资料。

² 在 210 米范围内被甩出来的涡轮部件或碎冰击中的风险为 1: 10, 000, 000 (泰勒与兰特, 1991 年)。

³ 数据显示，地面上发现的被涡轮机甩出的碎冰重量约在 0.1 到 1 千克之间，距风力涡轮机的距离约在 15 到 100 米之间 (马格耐特等人, 1998 年)。

⁴ 有关安全退后方面的更多信息，请参见 Larwood 的资料 (2005 年)。

⁵ 泰勒与兰特 (1991 年)。



- 使用适合在寒冷温度条件下使用的合成润滑剂；
- 使用黑色氟乙烷涂层叶片；
- 在适当情况下提供全表面叶片加热，或者使用至少 0.3 米宽的先端加热器。

电磁干扰与放射

风力涡轮机可能会对航空雷达和电信系统产生电磁干扰（如微波、电视和无线电）。这种干扰主要是由三个机制造成的，即近场效应、衍射、反射或散射^{2, 3}。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、转子叶片的特点、信号频率受体、特点，以及当地大气的无线电波传播特点⁴。

航空雷达

位于机场附近的风电场可能会通过吃信号失真而对航空雷达的运作产生影响，可能会造成雷达显示屏上的信号流失或显示错误信号。这些影响是由涡轮塔与转子部件反射，以及雷达斩波造成的⁵。

建议采取以下预防与控制措施来减小这些影响：

- 考虑对能够减少雷达干扰的风能设备元件进行设计，包括涡轮塔的形状、引擎舱的形状与材料，同时对不会造成电力干扰的雷达吸收表面进行处理（如用强化玻璃环氧树脂或聚酯制成的转子叶片）；
- 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⁶。

电信系统

建议采取预防与控制措施来解决对电信系统产生的影响：

- 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；
- 安装能调整方向的天线⁷；
- 更改现有天线；
- 安装放大器对信号进行放大⁸。

¹ 拉科索等人（2003年）。

² 培根（2002年）。

³ 近场指的是在涡轮发动机和开关部件产生的电磁场作用下风力涡轮机产生干扰的可能性；风力涡轮机不仅反射，并且还吸收电信信号的情况下就会发生衍射；当风力涡轮机对发射器和接收器之间的信号造成阻碍或反射的情况下就会形成反射和散射。

⁴ Sengupta 与西尼尔（1983年）。

⁵ 涡轮塔反射：金属涡轮塔会把大量的传输信号反射回雷达上，从而降低对涡轮塔附近飞机的探测性。转子部件反射：旋转的转子会造成“叶片闪烁”，即转子叶片上会产生强大的雷达反射信号。发生这种风险的几率非常地，并且一旦发生了，持续的时间也非常短暂。引擎舱内的旋转部件（如轴和发动机）也会对雷达造成干扰。雷达斩波：叶片的旋转会造成叶片后雷达信号的调制或“斩波”，这是因为雷达叶片会间歇性地遮隐物体产生的雷达回波而造成的（AWEA，2004a）。

⁶ AWEA（2004a）。

⁷ AWEA（2004b）。

⁸ URS（2004年）。



电视

建议采取以下预防与控制措施来解决对电视广播造成的影响：

- 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；
- 使用非金属性的涡轮叶片；
- 如果在运作过程中检测出了干扰现象，则应：
 - 安装高质量的或能调整方向的天线；
 - 把天线的方向转向其他选择性的电视信号传输器；
 - 安装放大器；
 - 重新布置天线的位置；
 - 如果影响范围较大，考虑建设新的中继站¹。

公众接触

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。

建议采取以下预防与控制措施来对公众接触的安全问题进行管理：

- 在出入公路上安装大门；
- 对风电场或单个的涡轮机进行围挡，防止公众靠近涡轮机；
- 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。

2 指标与监测

2.1 环境

废气排放和污水排放指南

风能设施在运作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》。

噪声指南

噪声影响不能超过《通用 EHS 指南》中规定的水平，也不能产生比附近受体位置背景噪声高出 3dB 的噪声水平。

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

¹ AWEA (2004b)。



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。

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，与音符类似）相关的问题因素，可能还需要进行其他考虑¹。

环境监测

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。

对鸟类和蝙蝠的受伤状况伤害与死亡率进行监测时，对死亡的鸟类进行调查（涉及到整个鸟体、部分残肢和羽毛）是最常用的风电场碰撞监测方式²。

另外，要在时间和空间方面对海上风电场的海洋环境参数进行监测，包括底栖生物、哺乳动物和鱼类。这些参数可能包括底内动物（沉淀物与底内动物群）；硬质底土层生境；鱼类；玉筋属鱼（对沉淀物特点具有影响的指示性物种）；鸟类；以及海洋哺乳动物（海豹与海豚）。

环境监测的频率应当足以为监测参数提供具有代表性的数据。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。监测得出的数据应进行定期分析和检查，并与操作标准进行对比，以便采取合适的矫正行动。《通用 EHS 指南》中介绍了对废气废水监测的抽样和分析方法。

2.2 职业健康与安全

职业健康与安全指南

要根据出版的国际性接触指南对职业健康与安全绩效进行评估，其中的例子包括：美国政府工业卫生学家会议（ACGIH）出版的职业接触限值（TLV®）指南与生物接触指标（BEIs®）³，美国职业安全健康研究所（NIOSH）出版的《危险化学品使用手册》⁴，美国职业安全健康局（OSHA）出版的容许接触浓度限值（PELs）⁵，欧盟成员国公布的指示性职业接触限值⁶，或其他类似资料来源的规定。

事故与死亡率

项目要把发生在工作人员（不论是直接雇用的还是转包工人）之中的事故数目降低到零，特别是那些会造成工时损失、不同程度残疾、甚至死亡的事故。在发达国家，可以通过与标准

¹ 一些地方在产生的噪声水平比预期水平超出 5 dB (A) 的情况下，会进行“处罚”。

² 如需了解有关鸟类和蝙蝠碰撞监测的具体情况，请参见 Brett Lane 和 Assoc. (2005 年) 的调查文件。其他情况还可以参见加拿大环境协会的文件 (2005 年)。

³ 请参见以下网址：<http://www.acgih.org/TLV/>与 <http://www.acgih.org/store/>;

⁴ 请参见以下网址：<http://www.cdc.gov/niosh/npg/>;

⁵ 请参见以下网址：[http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9992](http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9992;);

⁶ 请参见以下网址：http://europe.osha.eu.int/good_practice/risks/ds/oel/;



规定机构（如美国劳动统计局与英国健康与安全执行局）进行磋商，根据工厂绩效确定其死亡率基准¹。

职业健康与安全监测

要对具体项目工作环境的职业危险情况进行监测。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²来设计和实施监测工作。管理者还应记录职业事故、疾病和危险事件。《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。

3 参考文献与其他资料来源

- [1] AWEA (Australian Wind Energy Association). 2002. Best Practice Guidelines for Implementation of Wind Energy Projects in Australia. AWEA (Australian Wind Energy Association). 2004a. Wind Farm Safety in Australia. Fact Sheet.
- [2] AWEA (Australian Wind Energy Association). 2004b. The Electromagnetic Compatibility and Electromagnetic Field Implications for Wind Farms in Australia. Fact Sheet.
- [3] AWEA (Australian Wind Energy Association). 2004c. Wind Farm Siting Issues in Australia. Fact Sheet.
- [4] Bombace, G. 1997. Protection of Biological Habitats by Artificial Reefs. In A.C. (ed) European.
- [5] Brett Lane & Assoc. 2005. Interim Standards for Assessing Risks to Birds from Wind Farms in Australia. Australian Wind Energy Association. BWEA (British Wind Energy Association). 1994. Best Practice Guidelines for Wind Energy Development.
- [6] BWEA (British Wind Energy Association). 2005a. Guidelines for Health and Safety in the Wind Energy Industry.
- [7] BWEA (British Wind Energy Association). 2005b. BWEA Briefing Sheet: Wind Turbine Technology.
- [8] BWEA (British Wind Energy Association). 2005c. BWEA Briefing Sheet: Offshore Wind.
- [9] BWEA (British Wind Energy Association). 2005d. BWEA Briefing Sheet: Wind Power and Intermittency: The Facts.
- [10] CASA (Civil Aviation Safety Authority). 2004. Obstacle Lighting and Marking of Wind Farms AC 139-18 (0).
- [11] Contra Costa County (California). 1996. Municipal Code (Wind Energy Conversion Systems) Article 88-3 Section 612.
- [12] CWA (Cape Wind Associates, LLC). 2004. Cape Wind Energy Project Draft Environmental Impact Statement.
- [13] Elsam Engineering A/S. 2005. Elsam Offshore Wind Turbines—Horns Rev Annual Status Report for the Environmental Monitoring Program January 1–December 2004.
- [14] Environment Canada. 2005. Wind Turbines and Birds—A Guidance Document for Environmental

¹ 请参见以下网址 <http://www.bls.gov/iif/> 与 <http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm>;

² 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。



- Assessment, Final Draft. Canadian Wildlife Service. Erikson, W.P., et al. 2001. Avian Collision with Wind Turbine: A Summary of Existing Studies and Comparisons to Other Sources of Avian Collision Mortality in the U.S. A National Wind Coordinating Committee Resource Document. Western Ecosystems Technology, Inc.
- [15] European Wind Energy Association. European Best Practice Guidelines for Wind Energy Development.
- [16] Gardner, P., A. Garrad, P. Jamieson, H. Snodin, G. Nicholls, and A. Tindal. 2003. Wind Energy—The Facts. Volume 1 Technology. European Wind Energy Association (EWEA).
- [17] Gipe, P.B. 1995. Wind Energy Comes of Age. New York: John Wiley and Sons.
- [18] IALA (International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities). 2004. IALA Recommendation O-117 on the Marking of Offshore Windfarms Edition 2.
- [19] Irish Wind Energy Association. Wind Energy Development Best Practice Guidelines.
- [20] Laakso, T., H. Hottinen, G. Ronsten, L. Tallhaug, R. Horbaty, I. Baring-Gould, A. Lacroix, E. Peltola, and B. Tammelin. 2003. State-of-the-art of Wind Energy in Cold Climates.
- [21] Larwood, S. 2005. Permitting Setbacks for Wind Turbines in California and Blade Throw Hazard. Prepared for California Wind Energy Collaborative. Report Number CWEC-2005-01.
- [22] 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, DC.
- [23] Morgan, C., E. Bossanyi, and H. Seifert. 1998. Assessment of Safety Risks Arising from Wind Turbine Icing. Proceeding of the International Conference, Wind Energy Production in Cold Climate, BOREAS IV, held at Hetta, Finland, March 31–April 2, 1998. Published by Finnish Meteorological Institute.
- [24] Natural Resources Canada. 2003. Environmental Impact Statement Guidelines for Screenings of Inland Wind Farms under the Canadian Environmental Assessment Act.
- [25] NWCC (National Wind Coordinating Committee). 1999. Methods for Studying Energy/Bird Interactions. A Guidance Document.
- [26] NWCC (National Wind Coordinating Committee) Siting Committee. 2002. Permitting of Wind Energy Facilities. A Handbook.
- [27] Ontario, Ministry of the Environment. 2004. Interpretation for Applying MOE Technical Publication to Wind Turbine Generators.
- [28] Sengupta, D. and T. Senior. 1983. Large Wind Turbine Siting Handbook: Television Interference Assessment, Final Subcontract Report.
- [29] State of Wisconsin. 2003. Draft Model Wind Ordinance for Wisconsin.
- [30] Taylor, D. and M. Rand. 1991. How to Plan the Nuisance out of Wind Energy. Town and Country Planning 60 (5): 152-155.
- [31] United Kingdom. Department of Trade and Industry. 1997. Report ETSU-R-97, The Assessment and Rating of Noise from Wind Farms.
- [32] URS (URS Australia Pty. Ltd.). 2004. Woodlawn Wind Farm Environmental Impact Statement.



- [33] Westerberg, H. 1999. Impact Studies of Sea-based Windpower in Sweden. Technische Eingriffe in Marine Lebensraume.
- [34] Winkelman, J.E. 1995. Bird/wind Turbine Investigations in Europe. Proc. Of National Avian-Wind Planning Meeting, Denver, CO, July 1994.

附件 A：行业活动的通用描述

风能转换项目是以对天然风进行利用为基础，并把风能转换为电能的项目。过去二十年里，这些类型的能源项目数目不断增多，正在成为一个越来越重要的可再生能源来源。风能转换项目既可以位于陆上，也可以位于海上。决定风电场建设地点的一个主要因素是：相关地点是否存在良好的风力来源。选址、设计和建设风电场之前，要首先进行一项风力来源利用评估，对相关地点的风能特点进行评估。其他影响因素还包括建设所需的财务成本、输电线路的接入情况、环境条件、土地使用与社区支持等情况。

如同其他行业领域一样，风能转换项目的存在周期由风力资源使用评估、建设、运作、维护和报废阶段组成。建设阶段的活动一般包括出入公路的建设或升级、现场准备、运送风力涡轮机构件，以及安装风能项目构件（如风力计、风力涡轮机、变压器、变电站）。报废工作取决于该地点以后的计划使用用途，但是一般由清理基础设施（如涡轮机、变电站、公路等）和对项目地点进行恢复组成，可能包括为陆上项目重新种植植被。下面的部分对陆上和海上风能转换项目建设与运作中都存在的设施与活动进行了说明。下面有一个小部分单独对海上风能项目的独特特点进行了说明。

陆上与海上风电场都存在的社会与活动

风力涡轮机一般朝着风吹来的方向设置，引擎舱和涡轮塔建在后面，在安排上要实现一个涡轮机不会对另一个涡轮机捕获风力的工作造成干扰。对于大型风能项目，一般迎着盛行风向在垂直方向上把涡轮机进行带状或线状排列，或者沿着山脊的轮廓排列，以便捕捉到较高的风速。在风电场范围内对单个涡轮机进行分离的主要考虑因素是风速和气流的紊乱情况。对涡轮机进行顺风向分离的首要原则是转子直径的 5 到 7 倍。建设风力涡轮机项目所需的面积会根据计划使用的涡轮机数目不同而不同，但是，风能项目产生干扰的实际面积（如安装涡轮机和出入通道需要的面积）会比总项目面积少很多。例如：一个设有 20 个涡轮机的典型风电场占用的土地面积可能会超过 1 平方千米，但是可能只对其中 1% 的土地面积进行了利用¹。

风能项目的构件包括风力涡轮机、变压器、风力涡轮机之间的地下接触轨集电器传输电缆、变电站和接入现有电网和出入公路的地上输电线路（图A-2）。风力涡轮机的间距要在减少使用空间的同时使风能的利用潜力达到最大化。决定单个涡轮机之间间距的主要因素是风速和湍流。一般说来，在与盛行风力方向垂直的方向上的涡轮机间距为 3 到 5 个转子直径，在与盛行风力方向平行的方向上的间距则为 5 到 7 个转子直径²。在某些地方，风力涡轮机之间的最低

¹ AWEA 2004c。

² AWEA 2004c。



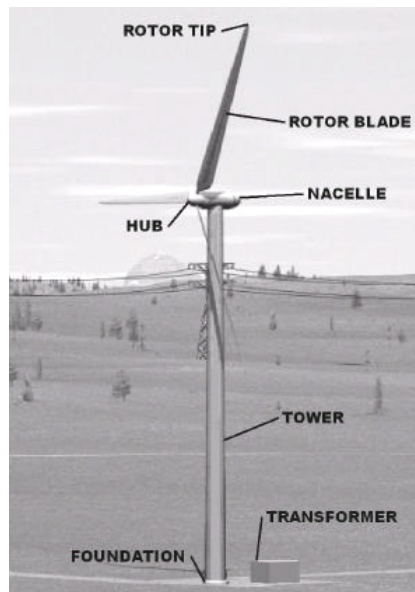
建议距离为 200 米，这样是为了避免对涡轮机之间的鸟类移动造成障碍¹。如果在盛行风力方向上的涡轮机间距在 5 个转子直径范围之内，则可能会造成很大的损失²。

风力涡轮机的发电机是风能项目中的基本构成部件，负责对风能加以利用，并转化为电能。以前，主要的风力涡轮机设计都是逆风的三叶片式被动停转控制恒速机械。接下来最常见的设计也是相似的，但是具有偏斜或主动停转控制性。风力涡轮机的公称标牌能力（如大小）已经从 1980 年的 50 千瓦稳定地增加到了 2003 年的 5 兆瓦，2005 年陆上风力涡轮机的平均能力为 2 兆瓦³。随着风力涡轮机发电能力的提高，转子的直径和塔高也增加了。

涡轮机一般由地基、塔、引擎舱、转子、叶片、转轴和灯组成（图A-1）。通过螺栓把塔固定到地基上，陆上涡轮塔的地基一般是长宽在 12 到 15 米之间、厚度在 2 到 3 米之间的厚钢筋混凝土板⁴。

为了捕获风力，用塔将转子叶片从地上升起来。涡轮塔主要是锥形圆柱体，通常用钢支撑，高度在 25 到 100 米之间，一般刷成浅灰色，但是根据各个国家的具体要求，处于航空与航海安全考虑，也可以刷成不同的颜色进行标记。

大多数转子叶片是由玻璃聚酯树脂、热塑塑料或环氧树脂（现在使用的大多是环氧树脂材料的）制成的。混合结构中越来越多的使用碳纤维作为原料。这些材料具有高强度、重量轻和灵活性的特点。在过去的 40 年里，转子直径从 1960 年的 24 米增加了到了 2003 年的 114 米⁵。实际上，所有的现代风力涡轮机转子一般都是按顺时针方向旋转的，转轴设在前面⁶。典型的陆上转子直径在 60 到 80 米之间。



ROTOR TIP: 转子顶端
ROTOR BLADE: 转子叶片
NACELLE: 引擎舱
HUB: 转轴
TOWER: 涡轮塔
TRANSFORMER: 变压器
FOUNDATION: 地基

¹ EC, 2005 年。

² 加德纳等人 2003 年的研究发现。

³ 加德纳等人 2003 年调查发现。

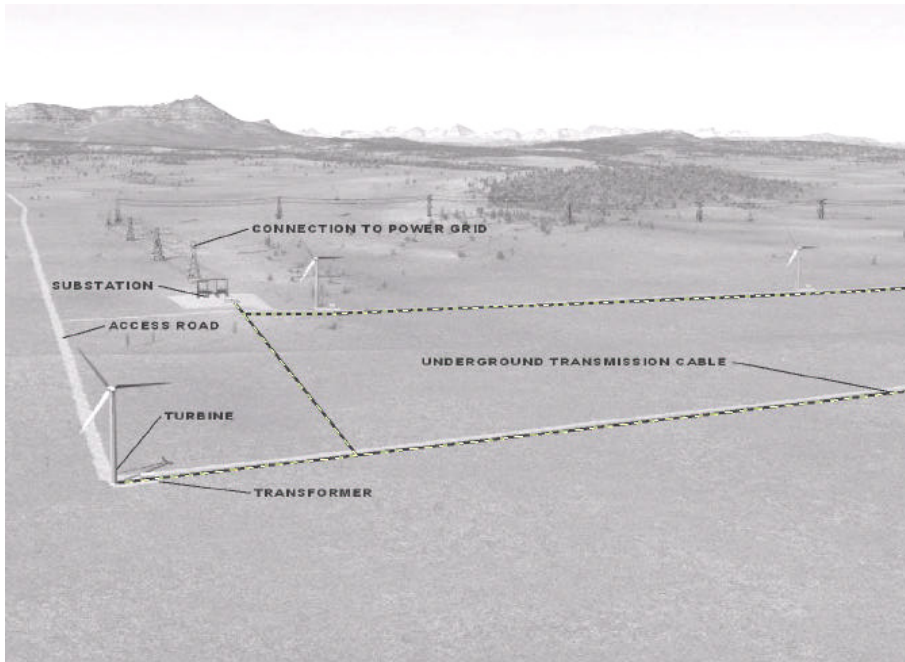
⁴ AWEA 2004d。

⁵ 加德纳等人 2003 年调查发现。

⁶ AWEA 2004d。



图 A-1 风力涡轮机的典型构件



Connection to power Grid: 接入电网

SUBSTATION: 变电站

ACCESS ROAD: 出入公路

UNDERGROUND TRANSMISSION CABLE: 地下输电电缆

TURBINE: 涡轮机

TRANSFORMER: 变压器

图 A-2 陆上风电场的典型构件

陆上风力涡轮机的建设程序一般包括准备地基；涡轮塔组装；转轴、转子和引擎舱的提升；以及转子的组装¹。

随着风速的增加，转子叶片开始旋转。这种旋转活动会启动引擎舱内的发动机，从而把一部分风能转化为电能。大多数风力涡轮机在风速达到约 3~4 米/秒（10.8~14.4 千米/小时）的情况下开始发电，风速在 15 米/秒（54 千米/小时）左右达到最大发电量，风速达到 25 米/秒（90 千米/小时）的情况下予以关闭，以免对涡轮机造成破坏²。转子顶端的速度大约可以达到 89 米/秒或 320 千米/小时¹。在风速太大的情况下，主要可以采取三种方式来限制转子的运动：停转控制、可变倾斜控制与主动停转控制。在停转控制中，转子叶片的空气动力设计可以对转子的运动进行控制。在风速太大的情况下，达到根据转子叶片空气动力设计确定的功率限制时，停转控制叶片就开始停止转动。在倾斜控制情况下，转子叶片最多可以倾斜 90 度来最大限度

¹ 加德纳等人 2003 年研究发现。

² BWEA 2005b。



的捕捉风力。一旦达到设定的功率限制，倾角就会发生改变，开始把转子吸收的能力泄露出来。主动停转控制停转与倾斜控制相结合的一种方式，在这种方式下，叶片与停转控制形式的叶片设计相似，但是仍然可以旋转，调整到适当的倾斜度。直到二十世纪九十年代，被动性停转规则还是人们的首选策略方式，但是，现在人们更倾向于使用倾斜控制和主动停转控制方式来限制大型涡轮机的转子功率²。

涡轮一般在运作的 70%到 85%时间里都在发电³。风能的量与风速的立方成正比，即风速增大到原来的两倍的话，那么风能就会达到原来的三倍。但是涡轮的风能生产不会按照相同的比例变化，而是大致为风速的平方。通过风力涡轮机发电产生的电压一般为 700 伏，不适于进行电力传输⁴。因此，每个涡轮机都要使用变压器对所生产的电进行‘升压’，达到相关电厂的具体配电要求。然后把电力输送到负责从风电场内所有涡轮机上采集电力的变电站。可以使用地下或地上输电电缆对涡轮机变压器和变电站，以及变电站和电网相连接。根据项目的具体设计，涡轮变压器可以单独地接入变电站，也可以把各个涡轮机相互连接以后再接入变电站。

风力涡轮机的设计寿命一般为 20 年，但是实际上，在湍流情况较少的地方，涡轮机可以使用较长的时间。转子叶片的设计标准非常严格，即使在超过设计寿命的情况下也不需要更换叶片，但是根据最近的经验，在达到额定的设计寿命之前一般需要对变速箱进行更换。风能项目的运作一般不需要配备现场工作人员。

在风力涡轮机的整个使用寿命过程中都需要进行常规维护，每年一般要达到 40 个小时的维护时间⁵。维护活动可能包括对涡轮和转子进行维护、零件润滑、发电机整体拆修，并在必要时对电力部件进行维护。

风电场的运作与维护一般不会涉及到空气排放或污水排放问题。一般维护工作中产生的液态废弃物与其他废弃材料一般不会进行现场存放，会根据相关的地区或国家法规或最佳管理规范进行处理。

海上风电场的特有设施

海上风电场的构件与运作情况与陆上风电场类似。海上与陆上涡轮机的主要区别是涡轮机的大小、涡轮塔的高度，以及转子叶片的直径。典型海上风力涡轮机到叶片顶端的整体高度在 100 到 120 米之间，其中涡轮塔大约在 60 到 80 米之间，转子叶片长度在 30 到 40 米之间⁶。其他的一个不同点是海上风电场一般采用地下（海上或陆上）电力来在涡轮机与变压器和变压器与陆上变电站之间进行电力传输（图A-3）。

¹ NZWEA 2005 年。

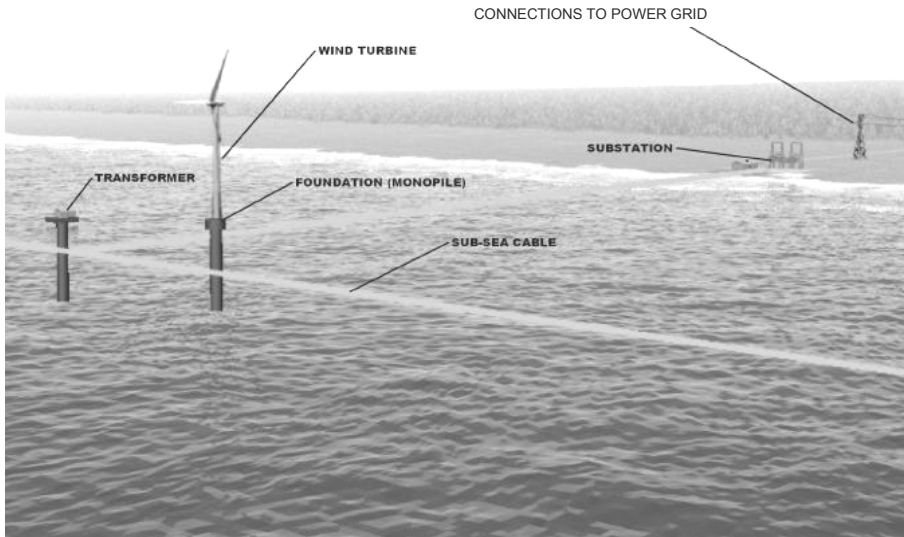
² AWEA 2004d。

³ BWEA 2005d。

⁴ BWEA 2005d。

⁵ 加德纳等人 2003 年研究发现。

⁶ BWEA, 2005c。



CONNECTIONS TO POWER GRID: 接入电网

WIND TURBINE: 风力涡轮机

SUBSTATION: 变电站

TRANSFORMER: 变压器

FOUNDATION (MONOPILE) 地基（单桩式）

SUB-SEA CABLE: 海底电缆

图 A-3 海上风电场的典型构件

海上涡轮机的构件材料（如涡轮塔）与陆上涡轮机类似，但是会采用一些不同的方法来对结构进行调整，使其适应海洋环境，包括在金属部件上采用涂层，以防受到侵蚀；使用密封式引擎舱；设计不同的地基/涡轮塔，以便适应风力、波浪、水流、潮流与海床的情况（见图 A-2）；并为进行维护提供特别的出入平台。

海上风电场一般建在水深在 30 米以内海水相对较浅的地区。根据选址要求（如风力特点）和限制情况（如视觉美观之类的环境问题）的不同，每个海上风电场项目距离岸边的距离也有所不同。

建设海上风力涡轮机的典型活动包括修建涡轮机的地基；涡轮机构件的海上运输；涡轮塔组装；把引擎舱和转子提升到涡轮塔上，以及转子/引擎舱的组装。

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：适用于所有的沉积条件；
- 钢重力地基：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；



- 漂浮式：适用于深达 100 米的地区。