

在多风暴海域开发风电场

风电是发展欣欣向荣的清洁能源。2013至2015年间，全球装机容量增加了25%；到2030年，装机容量预计还将增加近三倍。届时，风电场的总价值将达到2.1万亿美元。海上风电资源稳定且不占用任何陆地资源，因此我们预测未来绝大多数的开发项目将建于海上。但海上风暴比陆地上的更猛烈。处在风暴多发区的风电场该如何应对？



瑞士再保险的专家深入研究了风电的未来。到2030年，风电场的资产价值将达到2.1万亿美元，其中很大一部分为海上风电；在遭遇严重风暴时，它们面临受峰值阵风破坏的风险。

基于超过150年的风险建模经验，我们估算了2030年的市场损失。届时每年损失可能达到10亿美元，具体取决于灾害发生的地点。

对运营商和业主来说，这意味着修理费用和重置成本，以及风电机组停机的收入损失。

风电机组必须适应未来可能遭遇的风暴。目前风电机组的设计可以抵御所在地的极端灾害。但台风和风暴难以预测，所以适应性显得至关重要。我们仍须努力完善标准，尽可能提高风电机组的抗风暴能力。对于残余风险，保险业亦可提供帮助。

工程险和财产险可为您的财产以及由此导致的业务中断提供保障。敬请与我们联系，商讨如何开展合作，提高风电机组的恢复力。





风险地区位于何处

在持续强风的地区开发风电最具潜力。也就是说，风电场应建造在符合条件的地区。例如，根据气象数据，风电企业在美国大平原建起了电站。海洋也是具备充沛和持续风力的地区之一。由于水的摩擦力较小，海风流动稳定。此外，许多海上地点靠近电力需求旺盛的地区 - 世界上增长快速的沿海城市中心。因此，在全球各地，海上风电场的建设方兴未艾，而且这一建造热潮预计将持续下去。预期增长中的很大一部分将来自于海上风电站。

但海风并不总是那样无害。欧洲会发生冬季风暴，大西洋会发生飓风，太平洋会发生台风，地中海会发生密史脱拉风(Mistral)那样的沿海强风。当前的风险评估模型能够计算此类风暴的强度和发生频率。越来越多的高风险地区正在建设风电场，遭遇风暴的风险也在上升。

目前，风暴带来的问题是峰值阵风可能损坏风电机组或使其倒塌。过去未发生大规模破坏的原因是，风电是一个新兴行业，位于风暴经过地区的风电资产极少。

1991年，Elkraft(现改名为DONG Energy)在丹麦的Vindeby建造了首座海上风电站。该电站包含转子直径35米的11台西门子(先前的Bonus)450千瓦发电机，总装机容量为4.95兆瓦。该项目距离海岸2千米，入水深度2至4米，目前仍在运营中。此后24年，该行业取得长足发展：如今，5兆瓦单台机组的发电量相当于过去11台机组的总和。



2015年底，全球海上风电的装机容量已达到约12吉瓦，2,739台风电机组遍布15个国家的73座海上风电场。目前，超过92%(11吉瓦)的海上风电装机项目位于欧洲海域，但欧洲以外的各国与地区也已制定开发海上风电的宏伟目标。中国、日本、韩国、中国台湾和美国都将着手大力发展风电。这非常有利于技术发展，降低市场风险，扩大供应量，并催生创新。¹

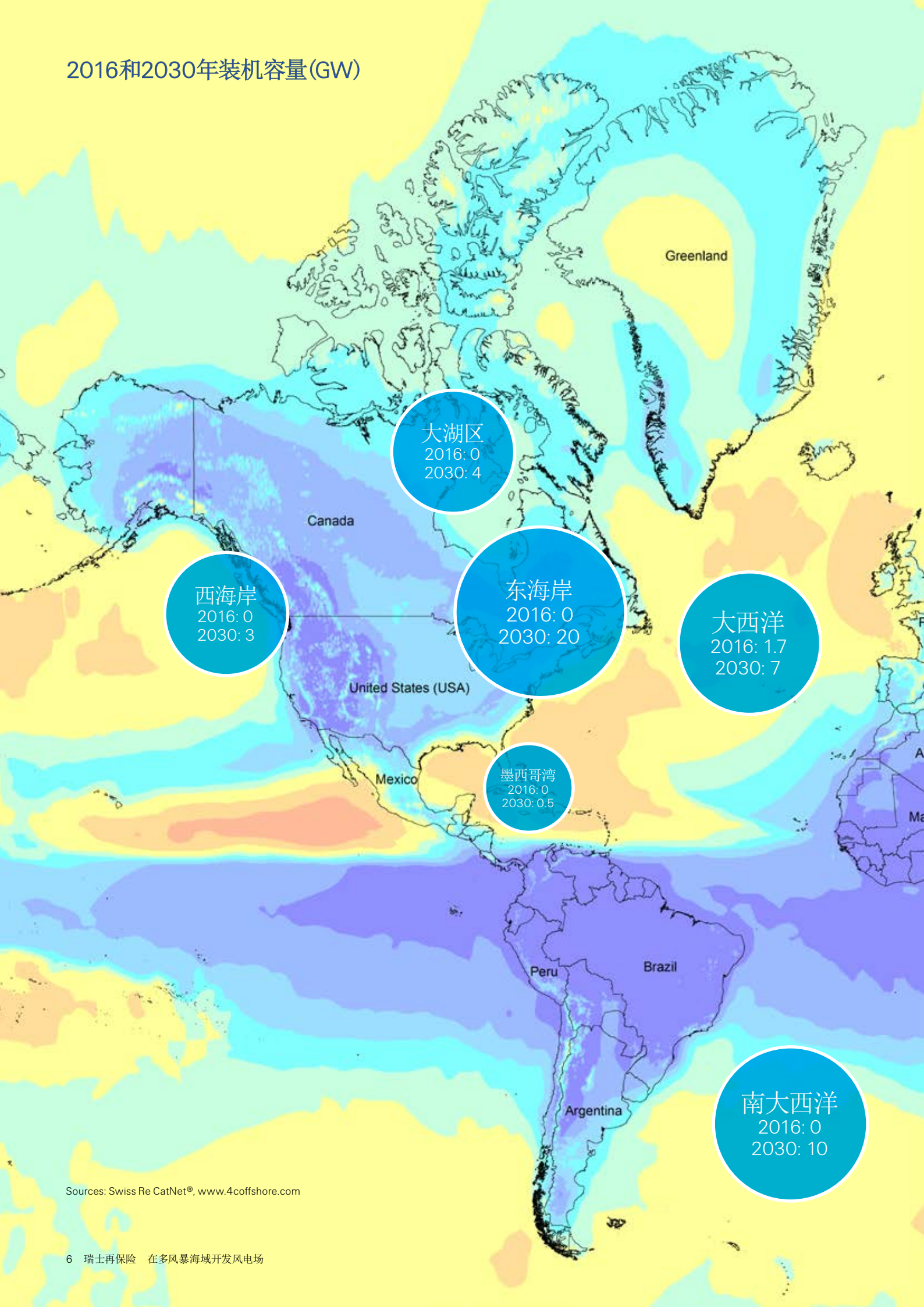
技术进步使得人们能够在原先不可能的地区安装风电机组，而风电场的建造者也在进入风暴更强烈的地区。台风和飓风的峰值阵风比其他风种更高，而他们的风向变化也迅速。记录显示风速最高的历史事件是发生在1996年的飓风奥莉维亚，风速高达408km/h (113m/s)。²相比之下，苏格兰地区最为严重的风暴风速也只最高达到了278km/h。³在亚洲的一些区域更需要建造一些下风口的涡轮机，而非欧洲地区所建造的上风口涡轮机。这些运营环境的差异对于大占比的海上风电站以及2030年前将建造的总价值2.1万亿美元的风电投资来说意味着什么？

¹ https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/03/WEResources_Wind_2016.pdf

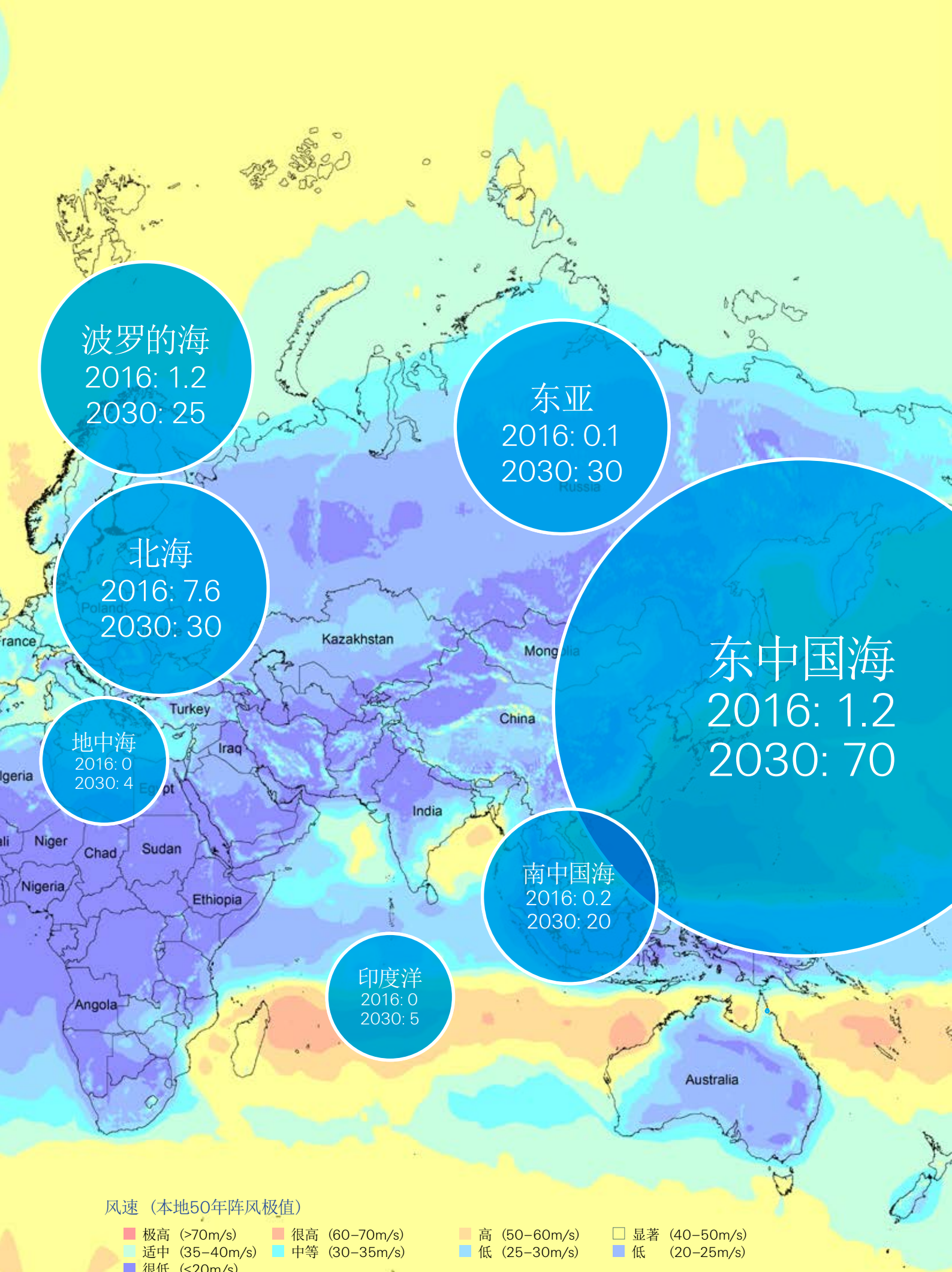
² <https://public.wmo.int/en/media/news/new-world-record-wind-gust>

³ https://web.archive.org/web/20140227072049/http://www.metoffice.gov.uk/media/pdf/o/5/Great_Glasgow_Storm_-_15_January_1968.pdf

2016和2030年装机容量(GW)



Sources: Swiss Re CatNet®, www.4coffshore.com



波罗的海
2016: 1.2
2030: 25

东亚
2016: 0.1
2030: 30

北海
2016: 7.6
2030: 30

地中海
2016: 0
2030: 4

东中国海
2016: 1.2
2030: 70

南中国海
2016: 0.2
2030: 20

印度洋
2016: 0
2030: 5

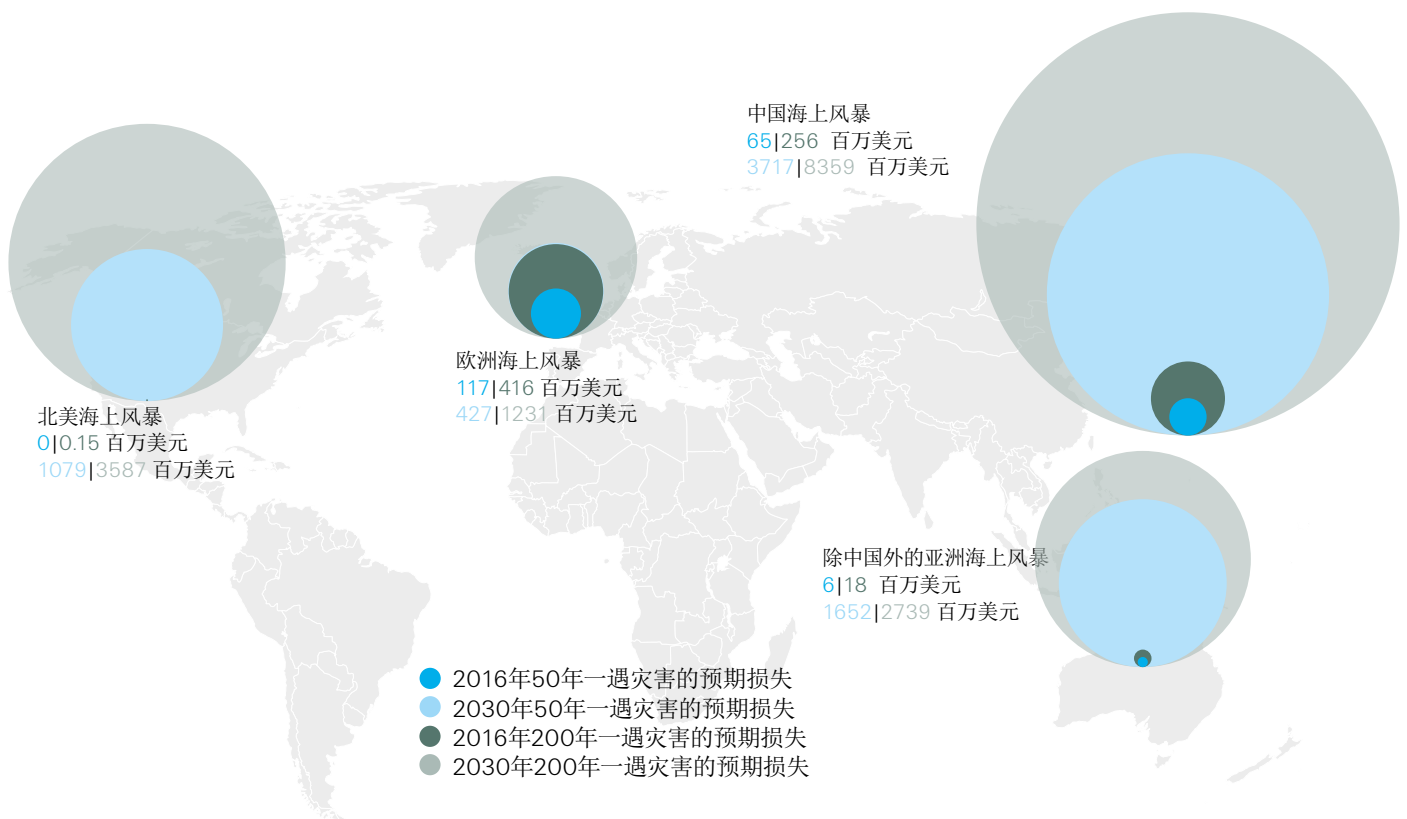
风速 (本地50年阵风极值)

- | | | | |
|---------------|---------------|--------------|---------------|
| 极高 (>70m/s) | 很高 (60-70m/s) | 高 (50-60m/s) | 显著 (40-50m/s) |
| 适中 (35-40m/s) | 中等 (30-35m/s) | 低 (25-30m/s) | 低 (20-25m/s) |
| 很低 (<20m/s) | | | |

全球海上风电站的损失估算

到2030年，全球预期平均年度损失将达到约10亿美元。50年一遇和200年一遇的预期损失事件都能轻易产生数十亿美元的损失。更何况，在风暴季节可能有多个风暴袭击一座电场，即使较弱的风暴也可能阻止人们开展即时维修。这种情况下，其中一个阻碍便是缺少维修载体。

我们利用经验和最近风险暴露数据，建立了风险模型。从现在到2030年，随着海上装机容量增加15倍，年度预期损失将上升34倍。换句话说，风险比风险暴露增长更快。



欧洲的情况尤其如此。正如瑞士再保险的研究“欧洲风暴集群”(Windstorm Cluster in Europe)⁴所阐述的，超强风暴往往属于一系列风暴 - 因此，特定季节的潜在风险巨大。那么风电机组的抗灾恢复力如何呢？

风电机组的恢复力

风电机组的设计面临挑战。由于风电机组的顶部很重，强风时必须能够抵御极值阵风，如果超过极限可能会受到损害，极端情况下甚至会发生倒塌。

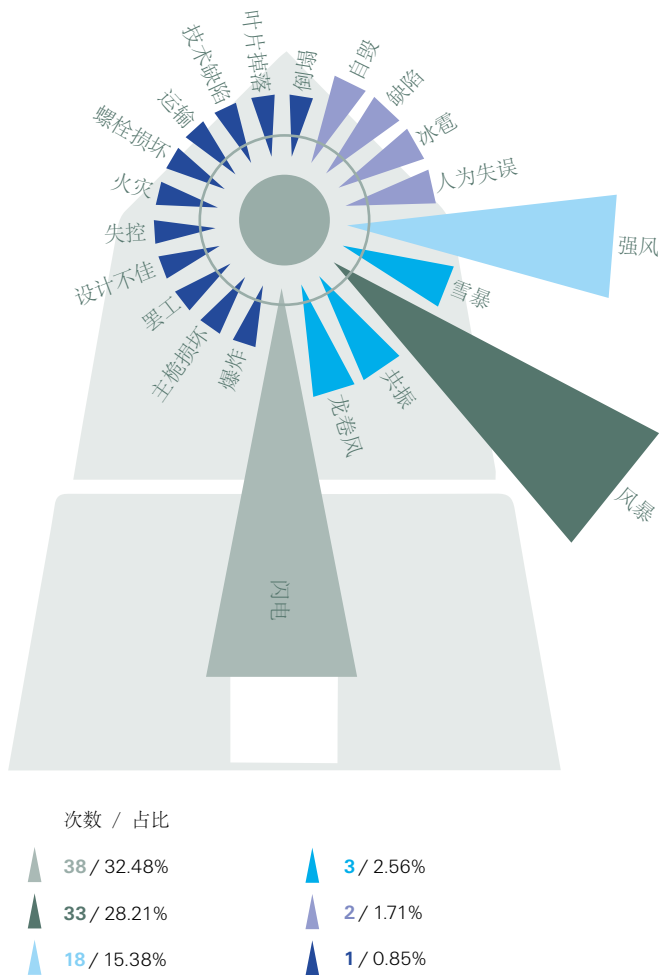
⁴ http://www.swissre.com/library/winter_storm_clusters_in_europe.html

事实上，多次风暴会给风电站带来严重损失。例如，2015年的超级台风苏迪罗 (Soudelor) 造成台湾一座风电场的风电机组倒塌。⁵ 2013年，超级台风“天兔”对中国广东省沿海的风电机组造成直接损坏。⁶

正如上述事例显示，海上风电场即使使用了最先进的技术，面对极大风速时仍很脆弱。那么面对峰值阵风时会怎样？

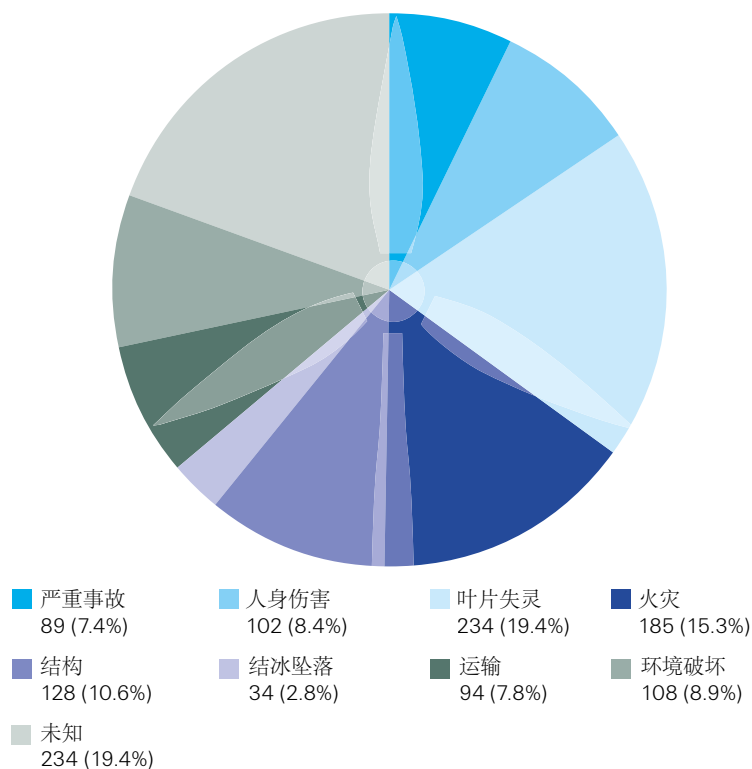
大多数风电机组的设计能够经受最高为70米/秒左右的峰值阵风。我们利用工程模拟模型进行了建模，证实如果所有安全机制正常工作，情况确实如此。显然，极端风暴中的峰值阵风能轻易超过当前风电机组的设计极值，造成破坏，并最终导致整台机组倒塌。有记录的峰值阵风风速最高达到过408km/h。⁷对风电站故障的评估显示，叶片和结构性损坏是主要问题。

风机叶片损坏原因



⁵ <http://www.windaction.org/posts/43218-taipower-to-investigate-why-wind-turbines-toppled-during-typhoon#.WYRKpV4Um9J>
⁶ <http://www.windpowermonthly.com/article/1213452/chinese-typhoon-knocks-17-wind-turbines>
⁷ <https://public.wmo.int/en/media/news/new-world-record-wind-gust>

风力发电机损坏类型的比例



Source: J.-S. Chou et al./Engineering Failure Analysis 27 (2013) 99-118

但经验显示，即如果安全机制未正常工作或不充分工作，在风速较低时也会引发一些问题。

尼加拉瓜的一个例子说明，虽然安装了后备电力系统，但该系统在停电时却未正常工作，无法防止转子超速，结果造成一台机组崩塌，另外两台严重受损。⁸由于强风暴发生时，海上设备很可能断电，所以上述情景极有可能在未来重演。

即使偏转系统等安全系统有电力供应，也需要正确的数据才能正常工作。通常安装于机舱的风向标必须位置正确，工作正常。否则，安全系统将没有必需的数据来支持其运转。

目前风电场的设计寿命是20年，从投资角度来看，它们相比火力发电要更脆弱，因为火力发电的寿命更长。而风机的高速发展带来了更大功率的输出与直径更惊人的叶片，这也意味着会有系统性的未知风险，可能会对行业造成很大影响。

⁸ http://www.windaction.org/posts/41742-turbine-collapses-at-wind-power-plant-in-rivas#.WVzio_4Um9I
<http://renews.biz/80780/suzlon-probes-turbine-collapse/>
<http://www.windpowermonthly.com/article/1325609/one-suzlon-turbine-destroyed-two-badly-damaged>

即使一切工作正常,还存在一个问题:在热带气旋附近,风速和(尤其是)风向会快速发生大幅改变。在风暴眼途径风电站的极端情形中,风电机组会经受单向阵风的全力吹袭。经历风暴眼过后的短暂平静期,机组又会遭遇完全相反方向的同一阵风。如果风电机组在风暴眼通过前一直锁定于偏转位置,风力负荷可能急剧增加。⁹

但即使对于面临没有急速风向改变的风暴的地区,我们的了解仍存在不足。例如,目前偏转系统的设计仅可应对10分钟的单向峰值阵风负荷。

总之,风电行业逐渐转移至风险暴露较大的区域,我们需要获取更多知识,对风险管理进行更全面地调查和研究。

海上风电场的风险管理

为了确保风电站在严重灾害中保持运行,应当在规划和设计阶段考虑以下因素:

- 所选地点存在哪些自然灾害? 请通过我们的网站访问瑞士再保险的CatNet®, 获得第一手信息。
- 目前的设计标准(例如IEC设计标准)尚未考虑飓风的情况。标准的更新和扩展已被纳入计划之中,从而将改善未来在风险地区建造风电机组的设计依据。我们大力支持这方面的行动。例如,这些问题可能包括:
 - 在热带气旋经过的路径中,风速和风向可能会迅速改变。但是,偏转系统控制机制通常只考虑10分钟的风速和风向测量平均值。因此,它们不够灵活,无法及时响应风暴的突变。¹⁰
 - 设计指导原则尚未适当考虑长期风动效应造成保护层交界面之间的裂缝和脱皮。¹¹
 - 风电机组可能处于不同的运行状态,比如正常运行、停机或紧急关机。针对影响风电机组的应力建模时,应当考虑这一点。
- 还应考虑冲刷等其他效应。

如果风险地区风电站的设计考虑到了上述因素,那么它们很有可能经受住严重灾害的考验。此外,陆上风电设施在设计电缆、变电站和进出道路等必要的支持性基础设施时,还应适当考虑自然灾害风险,以便能够进行维修。这是因为,维修对于特种设备是必不可少的。如果长达数日无法进入风电站,商业中断时间会延长。

不过,还是会存在残余风险,但我们可通过保险加以解决。

⁹ <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148112000213>

¹⁰ Failure analysis of wind turbine blade under critical wind loads <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350630712001641>

¹¹ Failure analysis of wind turbine blade under critical wind loads <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350630712001641>

保险提供财产和收入保障

我们向风电站运营商提供覆盖整条价值链的保险产品。

规划和建造：我们的工程险在建造阶段为您的设施提供保障。保障范围仅包括开工延迟导致的财产及/或收入损失，具体将取决于您所选的险种。

运营：我们可提供基于指数的“无风”保险，达到某个预定阈值后即可作出赔付，从而在较长的无风期中保障企业和¹²再保险客户的收入流。¹³

自然灾害险：该保险针对风暴、洪水、地震或森林火灾等自然灾害造成的破坏，为您的风电站提供保障。同样，保障范围仅包括开工延迟导致的财产及/或收入损失，具体将取决于您所选的险种。

清洁能源的未来之路

正如可再生能源供应量的指数式增长所显示的，可再生能源供应情况已开始发生变化。未来几年，缓解气候变化和空气污染的行动将推动这个进程。

在许多国家，风电将成为新的能源供应结构中的重要组成部分之一。随着风电开发利用规模快速扩大，我们将看到该领域出现更迅速的技术发展。例如，2017年苏格兰将建造首台海上浮动风电机组。¹⁴ 亚洲国家/地区(如日本和中国台湾)也在大力投资兴建浮动风电站 - 这是一个非常有趣的话题，因为它们应对强风的方式可能完全不同于目前的固定平台机组。¹⁵ 这不过是其中一个示例，反映出技术飞跃不仅将带来新机会，也会带来新风险 - 譬如远离陆地的浮动风电站的电缆和变电站面临的风险。

要让投资者认可该项新技术，必须确保他们的投资安全，并保障收入流。这种保障一方面依赖设计，另一方面则须仰赖保险业提供投资者需要的险种。

应对技术变革是保险业的内在特性之一。我们在为技术创新提供保险方面，拥有150多年的丰富经验。让我们携手努力，将上述经验应用于风电技术，使得未来能源供应具有更大的可靠性和恢复力。

¹² https://corporatesolutions.swissre.com/innovative_risk/weather/

¹³ http://www.swissre.com/library/factsheets-publication/protection_against_resource_volatility.html

¹⁴ <https://www.theguardian.com/business/2017/jun/27/hywind-project-scotland-worlds-first-floating-windfarm-norway>

¹⁵ https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/03/WEResources_Wind_2016.pdf



附录

我们在去发展、维护以及推进我们自己专有的、最先进的风险评估模型拥有悠久的历史。而风险评估模型不过是简化现实的表示。自然灾害模型利用计算机虚拟世界，试图模拟现实中自然灾害的损失。这些虚拟世界由四种不同的基本数据组成。



灾害

灾害的组成部分包括现实灾难场景所留下的物理痕迹。例如，热带气旋或地震期间的峰值在地面加速时，可能是产生的最大峰值。它允许评估潜在的事件的地点、频率和严重程度。由于历史记录通常难以用一种一致而有力的方式来评估，自然科学家模拟了成千上万的人工但仍然是现实所存在的(所谓的概率)事件。



易损性

易损性的组成部分将损失比率描述为和物理强度相关的函数(例如，峰值阵风，地面加速度)。一般情况下，在给定强度下的损失比率很大程度取决于风险特征。例如对于风力涡轮机来说，设计标准、年限、安全机制和基础等因素起着至关重要的作用。这从经验和工程方面考虑来说都很显而易见。除了预期的损失比率以外，还需要考虑分散/不确定因素。



价值分布

保险对象的准确位置和类型(如风力发电场)是决定危险和易损性的非常重要的因素。为了能够预测损失的绝对金额，了解被保对象的价值也是有必要的。此外，价值分布决定了给定投资组合中风险与给定的自然危害下的预期损失：在一个风暴的典型轨道上的风险可能会受到同一个气旋所带来的损害。如果价值分布随着时间的推移而被跟踪，累计控制也同样适用。



保险条款

保险条款，包括免赔额和限额，都是允许保险公司及再保险公司在合理范围内保留其损失份额的重要工具。这些条款可以适用于同一地点的个险保障以及同一地点多个被保人的保障利益。而在计算绝对预期损失量时，也显然需要考虑这些条款。

标题

在多风暴海域开发风电场

作者

Dominik Renggli

编辑

Bernd Wilke, Giuseppe Rebuffoni

概念实现

Stephan Schreckenberger, Oliver Schelske

主任编辑

Urs Leimbacher

版面设计

Swiss Re Corporate Real Estate & Services /
Media Production, Zurich

图片

IStockphoto

免责声明

本出版物的全部内容受《著作权法》保护，著作权归属于瑞士再保险股份有限公司所有。在保留所有著作权以及相关声明尤其是署名的前提下，本出版物内容可作私人或内部参考之用。禁止以任何方式使用本报告发布的数据。如需转载或摘编等以公开方式使用本刊物内容，须事先获得瑞士再保险书面批准，之后如能提供相关使用的副本，将不胜感激。虽然本出版物中的所有信息都取自可靠来源，但所提供的信息及作出的前瞻性陈述仅供参考，并不代表瑞士再保险的立场，瑞士再保险公司不对提供的信息和前瞻性声明承担任何责任。出版物内容不构成开展任何证券交易或做出投资或签订(再)保险合同的要约或要约邀请。在任何情况下，瑞士再保险均不对使用上述信息所导致的任何相关损失或损害承担任何责任；读者须独立判断，勿过分依赖前瞻性陈述。瑞士再保险没有义务公开修改或更新任何前瞻性的陈述，不论是由于新信息、未来事件或其他原因所致。

请访问 www.swissre.com 下载或订阅瑞士再保险出版物

Order no: 1507345_17_CH

©2017 Swiss Re. All rights reserved.

瑞士再保险
瑞再研究院
Mythenquai 50/60
P.O. Box
8022 Zurich
Switzerland

电话 +41 43 285 2121
传真 +41 43 285 2999
www.swissre.com