

提高风电运营效率的安全监管措施探讨

王丽红

大唐（内蒙古）能源开发有限公司锡盟新能源事业部 内蒙古 锡林郭勒 026000

摘要：在能源转型浪潮下，风电作为清洁能源的主力军，其运营效率关乎能源供应的稳定性与可持续性。然而，风电运营面临诸多复杂安全风险，严重影响运营效率。本文深入剖析风电运营中设备、人员、环境及管理等多维度安全风险，从风险耦合视角揭示其对运营效率的复杂影响机制。进而提出涵盖制度创新、技术赋能、文化培育与生态协同的全方位安全监管措施，旨在通过系统性安全监管提升风电运营效率，推动风电行业高质量发展。

关键词：风电运营效率；安全监管；风险耦合；措施创新

1 引言

在全球应对气候变化、推动能源转型的大背景下，风电以其清洁、可再生的特性，成为能源结构调整的重要力量。近年来，风电装机容量持续增长，技术不断进步，成本逐步降低，但风电运营效率的提升仍面临诸多挑战。其中，安全问题是制约风电运营效率的关键因素之一。风电场通常分布在偏远地区，自然环境恶劣，设备长期暴露在外，易受到风沙、盐雾、雷电等侵害，导致设备故障频发。同时，风电运营涉及多个环节和专业领域，人员操作不规范、安全管理不到位等问题也时有发生，进一步增加了安全风险。因此，加强安全监管，提高风电运营的安全性，是提升运营效率、保障风电行业可持续发展的必然要求。

2 风电运营安全风险的多维度剖析

2.1 设备层面的风险

风电设备是风电运营的核心资产，其安全性和可靠性直接影响运营效率。设备风险主要体现在以下几个方面：一是设备老化问题。随着风电场运行时间的增长，设备部件逐渐磨损、腐蚀，性能下降，故障率上升。例如，风力发电机组的齿轮箱、发电机等关键部件，在长期运行后容易出现故障，导致停机维修，影响发电量。二是设备质量问题。部分风电设备在制造过程中存在质量缺陷，如叶片材料不均匀、焊接不牢固等，这些问题在设备运行过程中可能逐渐暴露，引发安全事故^[1]。三是设备维护不当。风电设备的维护需要专业的技术和工具，如果维护人员技能不足或维护流程不规范，可能导致设备维护不到位，无法及时发现和排除隐患，增加设备故障的风险。

2.2 人员层面的风险

人员是风电运营的主体，其操作行为和管理水平对运营安全至关重要。人员风险主要包括：一是安全意识

淡薄。部分工作人员对安全规定和操作规程不重视，存在侥幸心理，违规操作现象时有发生。例如，在进行设备检修时，未按照要求进行停电、验电、挂接地线等操作，容易引发触电事故。二是技能水平不足。风电运营涉及机械、电气、自动化等多个专业领域，对工作人员的技能要求较高。如果工作人员缺乏必要的专业知识和技能培训，在面对复杂设备故障时，可能无法正确判断和处理，导致故障扩大，影响运营效率。三是人员疲劳作业。风电场的工作环境较为艰苦，工作任务繁重，部分工作人员可能存在疲劳作业的情况，这会降低其注意力和反应能力，增加安全事故发生的概率。

2.3 环境层面的风险

风电场通常建设在自然环境复杂的地区，如山区、海边、高原等，这些地区的气象条件和地质条件对风电运营安全构成严重威胁。环境风险主要包括：一是极端天气影响。强风、暴雨、暴雪、雷电等极端天气可能导致风电设备损坏，如强风可能使风机叶片断裂、塔筒倒塌；雷电可能引发电气设备火灾、损坏控制系统等。二是地质灾害风险。地震、滑坡、泥石流等地质灾害可能破坏风电场的基础设施，导致设备倾斜、倒塌，造成严重损失。三是海洋环境影响。对于海上风电场，海洋环境中的盐雾、海浪、潮汐等因素会加速设备的腐蚀和磨损，增加设备维护难度和成本。

2.4 管理层面的风险

安全管理是风电运营的保障，但目前部分风电场在安全管理方面存在诸多问题。管理风险主要体现在：一是安全管理制度不完善。一些风电场的安全管理制度不健全，缺乏明确的责任分工和操作流程，导致安全管理工作无法有效落实。二是安全监管不到位。安全监管部门对风电场的监督检查力度不够，对发现的安全隐患未能及时督促整改，使得安全隐患长期存在，最终可能引

发安全事故。三是应急管理能力不足。部分风电场缺乏完善的应急预案和应急演练机制,在突发事件发生时,无法迅速、有效地进行应对,导致事故损失扩大。

3 安全风险对风电运营效率的影响机制:风险耦合视角

风电运营中的各种安全风险并非孤立存在,而是相互关联、相互影响的,形成了一个复杂的风险耦合系统。风险耦合是指两种或多种风险因素相互作用、相互叠加,产生比单一风险因素更大影响的现象。在风电运营中,设备风险、人员风险、环境风险和管理风险之间存在着密切的耦合关系,共同影响着运营效率。例如,设备老化问题(设备风险)可能导致设备故障频发,增加维修工作量和维修成本,影响发电量。而人员技能水平不足(人员风险)可能无法及时发现设备老化迹象,导致设备故障进一步恶化。同时,恶劣的自然环境(环境风险)如高温、高湿、强风等会加速设备老化过程,增加设备故障的风险。此外,安全管理制度不完善(管理风险)可能无法对设备维护和人员操作进行有效的规范和监督,使得设备风险和人员风险得不到有效控制,最终影响风电运营效率。风险耦合作用下,安全风险对风电运营效率的影响呈现出非线性 and 放大效应^[2]。一个小小的安全隐患可能在风险耦合的作用下引发严重的安全事故,导致风电场长时间停机,造成巨大的经济损失。因此,要提高风电运营效率,必须从系统整体的角度出发,全面识别和评估安全风险,采取有效的安全监管措施,打破风险耦合链条,降低安全风险对运营效率的负面影响。

4 提高风电运营效率的安全监管措施创新

4.1 制度创新:构建动态适应的安全监管制度体系

4.1.1 完善安全法规标准

政府应加强对风电行业安全法规标准的研究和制定,根据风电技术的发展和运营实践的变化,及时修订和完善相关法规标准,确保其科学性和有效性。例如,制定更加严格的风电设备制造标准和检测规范,提高设备质量门槛,从源头上减少设备风险;明确风电场安全管理的各项要求和责任,对违规行为制定严厉的处罚措施,为安全监管提供有力的法律依据。

4.1.2 建立安全风险分级管控和隐患排查治理双重预防机制

风电企业应建立安全风险分级管控体系,对风电运营过程中的各种安全风险进行全面识别和评估,根据风险等级制定相应的管控措施,实现对安全风险的精准管控。例如,对于高风险的设备故障和人员违规操作,

要采取更加严格的监控和管理措施,如安装实时监测设备、加强人员培训和教育等。同时,建立隐患排查治理长效机制,定期组织开展隐患排查工作,对发现的安全隐患及时进行整改,确保风电场的安全运行。可以建立隐患排查治理台账,对隐患的发现、整改、验收等环节进行全程跟踪和记录,提高隐患排查治理的效率和效果。

4.1.3 推行安全信用监管制度

建立风电企业安全信用档案,对企业的安全生产管理制度执行情况、安全事故发生情况、隐患排查治理情况等记录进行记录和评价。根据企业的安全信用等级,实施差异化的监管措施,对安全信用良好的企业给予政策支持和奖励,如优先审批项目、给予税收优惠等;对安全信用较差的企业加大监管力度和处罚力度,如增加检查频次、限制项目投标等,激励企业加强安全管理,提高安全水平。

4.2 技术赋能:利用先进技术提升安全监管效能

4.2.1 应用物联网和大数据技术实现设备智能监测

在风电设备上安装各种传感器,实时采集设备的运行参数,如温度、振动、转速、电流、电压等,并通过物联网技术将数据传输到监控中心。利用大数据分析技术对设备运行数据进行深度挖掘和分析,建立设备故障预测模型,实现对设备故障的提前预警和精准诊断。例如,通过对齿轮箱振动数据的分析,可以提前发现齿轮的磨损和故障迹象,及时安排维修和更换部件,避免故障的进一步扩大^[3]。同时,通过远程监控和诊断系统,专家可以实时了解设备运行状况,为现场维修人员提供技术支持和指导,提高设备维修效率和质量。

4.2.2 引入虚拟现实和增强现实技术开展安全培训

利用虚拟现实(VR)和增强现实(AR)技术创建逼真的风电运营场景,让工作人员在虚拟环境中进行安全培训和实践操作。通过VR和AR技术,工作人员可以身临其境地体验各种安全事故场景,如火灾、触电、设备倒塌等,学习正确的应急处理方法,提高安全意识和应急处置能力。同时,VR和AR技术还可以模拟复杂的设备结构和操作流程,帮助工作人员更好地理解和掌握设备操作技能,减少因操作不当引发的安全事故。例如,在进行风力发电机组攀爬作业培训时,通过VR技术可以让工作人员在虚拟环境中体验攀爬过程,学习正确的攀爬方法 and 安全注意事项,避免在实际攀爬中发生坠落事故。

4.2.3 运用无人机技术进行风电场巡检

无人机具有灵活、高效、安全等优点,可以快速对风电场进行全面巡检。通过搭载高清摄像头、红外热成像仪等设备,无人机可以对风电设备的外观、运行状态

进行实时监测,及时发现设备存在的缺陷和隐患。与传统的人工巡检相比,无人机巡检效率更高,能够覆盖更广泛的区域,减少巡检人员的工作强度和安全风险。例如,对于海上风电场,无人机可以快速到达海上设备进行巡检,避免了人员乘船出海的风险和不便。

4.3 文化培育:营造良好的安全文化氛围

4.3.1 加强安全文化宣传教育

风电企业应通过多种渠道,如企业内部刊物、宣传栏、培训课程、安全活动等,广泛宣传安全文化理念和安全知识,提高员工的安全意识和责任感。定期组织开展安全文化主题活动,如安全知识竞赛、安全演讲比赛、安全应急演练等,营造浓厚的安全文化氛围,使安全文化深入人心。例如,通过举办安全知识竞赛,激发员工学习安全知识的积极性和主动性,提高员工的安全素养。

4.3.2 建立安全激励机制

设立安全奖励基金,对在安全管理工作表现突出的部门和个人进行表彰和奖励。奖励形式可以包括物质奖励和精神奖励,如奖金、荣誉证书、晋升机会等。通过安全激励机制,激发员工参与安全管理的积极性和主动性,形成全员参与安全管理的良好局面。例如,对于及时发现安全隐患并避免事故发生的员工,给予重奖,鼓励其他员工积极学习和效仿。

4.3.3 强化领导示范作用

企业领导应以身作则,带头遵守安全规定和操作规程,积极参与安全管理和安全活动。在日常工作中,领导要关注员工的安全需求和状况,及时解决安全问题,为员工树立良好的安全榜样^[4]。领导的示范作用能够引导员工树立正确的安全价值观,促进安全文化的建设和发展。例如,企业领导定期深入风电场一线,检查安全工作,与员工交流安全经验,让员工感受到领导对安全工作的重视。

4.4 生态协同:构建多方参与的安全监管生态

4.4.1 加强政府、企业和社会组织的协同合作

政府应发挥主导作用,加强对风电行业安全监管的统筹规划和协调指导,制定相关政策和标准,引导企业加强安全管理。企业应落实安全主体责任,建立健全安全管理体系,加强安全投入和安全管理队伍建设。社会组织应发挥专业优势,为企业提供安全咨询、培训、评

估等服务,促进企业安全管理水平的提升。通过政府、企业和社会组织的协同合作,形成安全监管合力,共同推动风电行业安全发展。

4.4.2 建立行业安全信息共享平台

搭建风电行业安全信息共享平台,整合政府、企业、科研机构等各方安全信息资源,实现安全信息的实时共享和交流。通过安全信息共享平台,企业可以及时了解行业安全动态和安全事故案例,学习借鉴其他企业的安全管理经验和做法,提高自身的安全管理水平。同时,政府和科研机构可以通过平台收集企业安全数据,开展安全研究和分析,为安全监管决策提供科学依据。

4.4.3 加强国际交流与合作

积极参与国际风电行业安全标准制定和安全技术交流活动,学习借鉴国外先进的安全管理经验和科技成果。与国际知名风电企业和科研机构开展合作研究,共同攻克风电运营安全领域的关键技术难题,提升我国风电行业安全监管水平和国际竞争力。

结语

本文通过对风电运营安全风险的多维度剖析和风险耦合机制的研究,揭示了安全风险对运营效率的复杂影响。在此基础上,从制度创新、技术赋能、文化培育和生态协同四个方面提出了一系列创新性的安全监管措施。这些措施相互关联、相互促进,形成了一个有机的整体,能够有效提升风电运营的安全性和可靠性,降低安全风险对运营效率的负面影响。在未来的风电运营管理中,应不断推进安全监管措施的创新和实践,适应风电技术的快速发展和运营环境的变化。同时,要加强政府、企业和社会各方的协同合作,共同营造良好的安全发展生态,推动风电行业向更高质量、更高效益的方向发展,为全球能源转型和可持续发展做出更大贡献。

参考文献

- [1]张步恩,王林.风电工程安全管理风险与对策[J].中国电力企业管理,2024,(36):23-25.
- [2]汪达.辽宁省风电企业安全监管问题研究[D].东北大学,2022.
- [3]刘俊良.海上风电安全监管问题及对策[J].中国海事,2025,(02):41-43.
- [4]沈传鑫.新能源场站风电机组安全运行管理提升路径分析[J].电力设备管理,2024,(15):247-249.