



风力发电生产

反事故措施及典型案例

陈立伟 刘银顺 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

风力发电生产

反事故措施及典型案例

陈立伟 刘银顺 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

随着风力发电的快速发展,风力发电生产事故也呈逐年上升趋势,其中人身伤亡、火灾、倒塔,风力发电机组主要部件损坏、超速、全场停电、电气设备等类事故比较突出。

本书根据国家级行业标准、反事故重点要求等文件,结合风力发电安全生产特点,总结提炼了风力发电生产重点反事故措施,从人员管理、基建阶段、生产运营阶段进行阐述,内容包括防止人身伤亡事故,防止火灾事故,防止电气误操作事故,防止系统稳定破坏事故,防止机网协调及风电大面积脱网事故,防止大型变压器损坏和互感器事故,防止 GIS、开关设备事故,防止接地网和过电压事故,防止输电线路事故,防止污闪事故,防止电力电缆损坏事故,防止继电保护事故,防止电力调度自动化系统、电力通信网及信息系统事故,防止并联电容器装置事故,防止电场全停及重要客户停电事故,防止风力发电机组倒塔事故,防止风力发电机组主要部件损坏事故,防止风力发电机组超速事故共 18 项重点反事故措施。

本书适用于风电企业生产运行、维护及安全管理人员使用,以及风电基建安装等工程技术人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

风力发电生产反事故措施及典型案例 / 陈立伟, 刘银顺主编. —北京: 中国电力出版社, 2019.5
ISBN 978-7-5198-3121-9

I . ①风… II . ①陈… ②刘… III . ①风力发电—发电厂—安全事故—案例 IV . ① TM62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 078988 号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 宋红梅 (010-63412383)

责任校对: 黄 蓓 常燕昆

装帧设计: 赵丽媛

责任印制: 吴 迪

印 刷: 三河市万龙印装有限公司

版 次: 2019 年 5 月第一版

印 次: 2019 年 5 月北京第一次印刷

开 本: 787 毫米 × 1092 毫米 16 开本

印 张: 8.75

字 数: 138 千字

印 数: 0001—2000 册

定 价: 48.00 元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题, 我社营销中心负责退换

本书编委会

主 编 陈立伟 刘银顺

副主编 金 安 孙亚林 孟利平 吴 锐

参 编 巩家豪 王金山 刘昌华 段向阳 周振百 张海明
杨鑫磊 盛旭满 宋祥斌 刘春雷 于润权 郭世勇
高长岳 曹占友 周亚强 刘天雷 王大福 王东辉
张晓伟 蔡 艺 蔡新民

前 言



为适应电力生产不断发展的需要，提高风电企业控制安全生产风险的能力，深入落实“安全第一，预防为主，综合治理”方针，进一步加强风电企业安全生产监督与管理，完善电力生产事故预防措施，有效防止风电企业电力事故的发生，编者依据 GB 6095《安全带》、GB 19155《高处作业吊篮》、GB 26164.1《电业安全工作规程（热力机械部分）》、GB 26859《电力安全工作规程（电力线路部分）》、GB 26860《电力安全工作规程（发电厂和变电站电气部分）》、GB 50168《电气装置安装工程电缆线路施工及验收规范》、GB 50172《蓄电池施工及验收规范》、GB 50370《气体灭火系统设计规范》、GB 51096《风力发电场设计规范》、GB/T 700《碳素结构钢》、GB/T 1591《低合金高强度结构钢》、GB/T 4798.6《环境条件分类 环境参数组分类及其严酷程度分级 船用》、GB/T 6096《安全带测试方法》、GB/T 20626.1《高原电子产品通用技术要求》、NB 31089《风电场设计防火规范》、NB/T 31001《风力发电机组塔形筒制造技术条件》、NB/T 31004《风力发电机组振动状态监测导则》、NB/T 31017《双馈风力发电机组主控制系统技术规范》、NB/T 31030《陆地和海上风电场工程地质勘察规范》、NB/T 31039《风力发电机组雷电防护系统技术规范》、NB/T 31052《风力发电场高处作业安全规程》、DL 5009.3《电力建设安全工作规程》、DL 5027《电力设备典型消防规程》、DL/T 666《风力发电场运行规程》、DL/T 724《蓄电池直流电源装置运行与维护技术规程》、DL/T 781《电力用高频开关整流模块》、DL/T 796《风力发电场安全规程》、DL/T 797《风力发电场检修规程》、DL/T 1476《电力安全工器具预防性试验规程》、DL/T 5044《电力工程直流系统设计技术规程》、FD 002《风电

场工程等级划分及设计安全标准》、CECS 391《风力发电机组消防系统技术规程》、国家能源局《防止电力生产事故的二十五项重点要求》(国能安全〔2014〕161号),编写了本书,内容包括“防止人身伤亡事故,防止火灾事故,防止电气误操作事故,防止系统稳定破坏事故,防止机网协调及风电大面积脱网事故,防止大型变压器损坏和互感器事故,防止GIS、开关设备事故,防止接地网和过电压事故,防止输电线路事故,防止污闪事故,防止电力电缆损坏事故,防止继电保护事故,防止电力调度自动化系统、电力通信网及信息系统事故,防止并联电容器装置事故,防止电场全停及重要客户停电事故,防止风力发电机组倒塔事故,防止风力发电机组主要部件损坏事故,防止风力发电机组超速事故”等要求。

风力发电企业贯彻学习使用本书,可切实降低风电企业安全生产风险,杜绝重特大安全生产事故发生,不断提高安全生产水平和发电能力,确保可持续发展。

编者

2019.4

目 录



前言

1	防止人身伤亡事故	1
1.1	防止高处坠落事故	1
1.2	防止触电事故	4
1.3	防止物体打击事故	7
1.4	防止机械伤害事故	10
1.5	防止起重伤害事故	12
1.6	防止中毒与窒息伤害事故	15
1.7	防止电力生产交通事故	17
2	防止火灾事故	20
2.1	加强防火组织与消防设施管理	20
2.2	防止电缆着火事故	21
2.3	防止变压器着火事故	22
2.4	防止风力发电机组着火事故	23
2.5	防止风电引发森林、草原着火事故	26
3	防止电气误操作事故	29
3.1	防电气误操作管理措施	29
3.2	防电气误操作技术措施	30
4	防止系统稳定破坏事故	32
4.1	电源	32

4.2	二次系统.....	32
4.3	无功电压.....	33
5	防止机网协调及风电大面积脱网事故	35
5.1	防止机网协调事故.....	35
5.2	防止风力发电机组大面积脱网事故.....	35
6	防止大型变压器损坏和互感器事故	39
6.1	防止变压器出口短路事故.....	39
6.2	防止变压器绝缘事故.....	40
6.3	防止变压器保护事故.....	43
6.4	防止分接开关事故.....	44
6.5	防止变压器套管事故.....	45
6.6	防止冷却系统事故.....	46
6.7	防止互感器事故.....	47
7	防止 GIS、开关设备事故	51
7.1	防止 GIS（包括 HGIS）、六氟化硫断路器事故.....	51
7.2	防止隔离开关、接地开关事故.....	53
7.3	防止开关柜事故.....	55
8	防止接地网和过电压事故	58
8.1	防止接地网事故.....	58
8.2	防止雷电过电压事故.....	60
8.3	防止变压器过电压事故.....	61
8.4	防止谐振过电压事故.....	61
8.5	防止弧光接地过电压事故.....	62
8.6	防止无间隙金属氧化物避雷器事故.....	62
9	防止输电线路事故	64
9.1	防止倒塔事故.....	64

9.2	防止断线事故.....	65
9.3	防止绝缘子和金具断裂事故.....	66
9.4	防止风偏闪络事故.....	67
9.5	防止覆冰、舞动事故.....	67
9.6	防止鸟害闪络事故.....	69
9.7	防止外力破坏事故.....	69
10	防止污闪事故	71
10.1	防污闪设计与设备选型.....	71
10.2	生产维护与技术管理.....	72
11	防止电力电缆损坏事故	73
11.1	防止电缆绝缘击穿事故.....	73
11.2	防止外力破坏和设施被盗.....	74
11.3	防止单芯电缆金属护层绝缘故障.....	75
12	防止继电保护事故	77
12.1	规划配置与设计选型.....	77
12.2	二次回路与等电位接地网.....	79
12.3	工程施工与运行维护.....	81
13	防止电力调度自动化系统、电力通信网及信息系统事故	84
13.1	防止电力调度自动化系统事故.....	84
13.2	防止电力通信网事故.....	86
13.3	防止场站信息系统事故.....	90
14	防止并联电容器装置事故	93
14.1	并联电容器装置用断路器.....	93
14.2	高压并联电容器.....	93
14.3	外熔断器.....	94
14.4	串联电抗器.....	94

14.5	放电线圈.....	95
14.6	避雷器.....	95
14.7	电容器组保护部分.....	96
15	防止电场全停及重要客户停电事故	98
15.1	防止电场全停事故.....	98
15.2	防止重要用户停电事故.....	101
16	防止风力发电机组倒塔事故	104
16.1	风力发电机组基础.....	104
16.2	塔架.....	106
16.3	高强螺栓.....	107
16.4	叶轮.....	109
16.5	机械保护.....	110
17	防止风力发电机组主要部件损坏事故	113
17.1	防止发电机损坏事故.....	113
17.2	防止齿轮箱损坏事故.....	115
17.3	防止变流器损坏事故.....	117
17.4	防止主轴及轮毂损坏事故.....	119
17.5	防止叶片损坏事故.....	120
18	防止风力发电机组超速事故	123
18.1	变桨系统.....	123
18.2	制动系统.....	124
18.3	控制系统.....	126

1

防止人身伤亡事故

1.1 防止高处坠落事故

1.1.1 人员要求

1.1.1.1 高处作业人员必须经县级以上医疗机构体检合格（体格检查至少每两年一次），凡患有高血压、心脏病、癫痫、恐高症、美尼尔氏综合症及运动功能障碍等不适宜高空作业疾病的人员，不得从事高空作业。

1.1.1.2 登高作业人员，必须经过专业技能培训，并应取得合格证书方可上岗。

1.1.2 作业环境要求

1.1.2.1 高处作业应设有合格、牢固的防护栏，防止作业人员失误或坐靠坠落。作业立足点面积要足够，跳板进行满铺及有效固定。

1.1.2.2 登高用的支撑架、脚手架材质合格并装有防护栏杆，支撑架、脚手架搭设牢固并经验收合格后方可使用；每次作业前，工作负责人应进行脚手架的整体检查，在冬季时作业人员应清除脚手架的冰雪，并采取适当的防滑措施；使用中严禁超载，防止发生架体坍塌坠落，导致人员踏空或失稳坠落；使用吊篮悬挂机构的结构件应有足够的强度、刚度和配重及可固定措施。

1.1.2.3 基坑（槽）临边应装设由钢管 $\phi 48\text{mm} \times 3.5\text{mm}$ （直径 \times 管壁厚）搭设带中杆的防护栏杆，防护栏杆上除警示标示牌外不得拴挂任何物件，以防作业人员行走踏空坠落。作业层脚手架的脚手板应铺设严密、采用定型卡带进行固定。

1.1.2.4 洞口应装设盖板并盖实，表面刷黄黑相间的安全警示线，以防人员行走踏空坠落，洞口盖板掀开后，应装设刚性防护栏杆，悬挂安全警示板，夜间应将洞口盖实并装设红灯警示，以防人员失足坠落。

1.1.2.5 风力发电机组塔架爬梯安全绳、安全滑轨应完好，安全轨道顶端应有防脱落装置，爬梯旁应挂“必须系安全带”“必须戴安全帽”“必须穿防护鞋”等指令标识，机舱内安全绳固定点、高空应急逃生定位点应清晰标明；塔架内照

明设施应满足现场作业需要。机舱内外需要作业的地方易滑处应有防滑垫和安全轨等防护措施。

1.1.2.6 每半年应对风力发电机组塔架内安全绳、爬梯、工作平台等检查维护一次。

1.1.3 管理要求

1.1.3.1 工作人员进入现场应戴安全帽，登高作业应系合格的安全带，登风机作业应穿防护鞋、戴防滑手套、使用防坠落保护装置。登高作业所用安全带、防坠落保护装置等劳动防护用品应检测合格，外观检查不合格的禁止使用。在高空作业应设专人监护。

1.1.3.2 在 8m/s 以上的大风以及暴雨、雷电、冰雹、大雾等恶劣天气，应停止露天高处作业。特殊情况下，需在恶劣天气进行抢修时，应组织人员充分讨论制定必要的安全措施，经本单位分管生产的领导（总工程师）批准后方可进行。

1.1.3.3 正确使用安全带，安全带必须系在牢固物件上，防止脱落。高处作业不具备挂安全带的情况下，应使用防坠器或安全绳。若安全绳有可能与锋利面接触，需要采取防护措施或者更改挂点。

1.1.3.4 登高作业应使用两端装有防滑套的合格梯子，梯阶的距离不应大于 40cm，并在距梯顶 1m 处设限高标志。使用单梯工作时，梯子与地面的斜角度为 60° 左右，梯子有人扶持，以防失稳坠落。

1.1.3.5 拆除工程必须制定安全防护措施，制定正确的拆除程序，不得颠倒，以防建（构）筑物倒塌坠落。

1.1.3.6 对强度不足的作业面（如石棉瓦、铁皮板、采光浪板、装饰板等），人员在作业时，必须采取加强措施，以防踏空坠落。

1.1.3.7 攀爬风力发电机组时，风速不应高于该机型允许登塔风速；但风速超过 18m/s 及以上时，禁止任何人员攀爬风力发电机组。

1.1.3.8 攀爬风力发电机组前，应将机组置于停机状态并调至就地控制，禁止两人在同一段塔架内同时攀爬；上下攀爬机组时，通过塔架平台盖板后，应立即随手关闭；随身携带工具人员应后上塔、先下塔；到达塔架顶部平台或工作位置，应先挂好安全绳，后解防坠器；在塔架爬梯上作业，应系好安全绳和定位绳，安全绳严禁低挂高用。任何时候都要保证至少有 2 人在机组上工作并相互通信畅通。

1.1.3.9 风速超过 12m/s 时，不应在风力发电机组机舱外和轮毂内工作，不应打开风力发电机组机舱盖（含天窗）。出风力发电机组机舱工作必须使用安全带，系两根安全绳。在机舱顶部作业时，应站在防滑表面，使用机舱顶部栏杆作为安全绳挂钩定位点时，每段栏杆最多悬挂两个。

1.1.3.10 风力发电机组塔架内应安装符合设计、制造要求的助爬器、免爬器、电控升降机、吊篮和电梯等辅助登塔设备，电控升降机、吊篮和电梯等应由资质单位进行安装验收和定期检测合格后方可使用；使用人员应熟练掌握辅助登塔设备的使用方法，使用前检查不合格的严禁使用。

案 例

高处不系安全带 工作人员把命丧

● 事故经过

某风电场 3 名员工组成工作班，办理工作票后开始到风电机组机舱内工作。工作结束后，甲首先下塔，乙和丙在机舱内收拾工具，约 2~3min 后，乙、丙二人听到塔筒内传出 2~3 次异常声响，急忙下塔查看。在沿爬梯下行过程中，发现二层平台上有安全帽、工作鞋等遗落，发现甲摔落在一层平台爬梯底部，身体周围及塔筒内壁上有大量血迹，乙、丙二人拨打急救电话，后经抢救无效确认甲死亡。

● 事故原因

- (1) 甲没有按规定携带和使用安全滑块（相当于未系安全带）。
- (2) 工作负责人乙在工作开始前，未对工作班成员逐条讲解危险点及安全防范措施，未逐个检查工作班成员安全防护用品的配备情况。

● 预防措施

- (1) 登高及高处作业必须系好安全带（包括安全滑块）；严禁将助爬器的环形钢索作为安全钢丝绳使用。
- (2) 工作负责人（监护人）必须严格履行安全监护职责；工作票签发人要审查工作的必要性和安全性，要确认工作票上所填安全措施正确完备，确认所派工作负责人和工作班人员适当和充足。

1.2 防止触电事故

1.2.1 技术措施

1.2.1.1 现场临时用电的检修电源箱必须装自动空气开关、漏电保护器、接线柱或插座，专用接地铜排和端子、箱体必须可靠接地，接地、接零标识应清晰，并固定牢固。

1.2.1.2 风力发电机组内所有可能被触碰的 220V 及以上低压配电回路电源，应装设满足要求的漏电保护器。漏电保护器必须每年进行一次检验，不合格者不得使用，每次使用前应手动试验合格。

1.2.1.3 电气设备必须装设保护接地（接零），不得将接地线接在金属管道上或其他金属构件上。雨天操作室外高压设备时，绝缘棒应有防雨罩，还应穿绝缘靴。雷电时严禁进行就地倒闸操作。

1.2.1.4 同塔双回或多回架设输电线路的杆塔，应将杆塔顶部和底部按回涂以不同颜色进行区分。

1.2.2 管理措施

1.2.2.1 凡从事电气操作、电气检修和维护人员（统称电工）必须经专业技术培训及触电急救培训并合格方可上岗，其中属于特种作业的需取得“特种作业操作证”。

1.2.2.2 凡从事电气作业人员应佩戴合格的个人防护用品。高压绝缘鞋（靴）、高压绝缘手套等必须选用具有国家“劳动防护用品安全生产许可证”资质单位的产品且在检验有效期内。作业时必须穿好工作服、戴安全帽，穿绝缘鞋（靴），根据工作需要戴绝缘手套。

1.2.2.3 绝缘安全用具（绝缘操作杆、验电器、携带型短路接地线等）必须选用具有“生产许可证”“产品合格证”“安全鉴定证”的产品，使用前必须检查是否贴有“检验合格证”标签及是否在检验有效期内且完好无损坏。

1.2.2.4 选用的手持电动工具必须具有国家认可单位发的“产品合格证”，使用前必须检查工具上贴有“检验合格证”标识，检验周期为 6 个月。使用时必须接在装有动作电流不大于 30mA、一般型（无延时）的漏电保护器的电源上，

并不得提着电动工具的导线或转动部分使用；严禁将电缆金属丝直接插入插座内使用。

1.2.2.5 在高压设备作业时，人体及所带的工具与带电体的最小安全距离，应符合表 1-1 的要求。

表 1-1 人体与带电体的最小安全距离

电压等级 (kV)	10 及以下	20 ~ 35	66 ~ 110	220	330	500
最小安全距离 (m)	0.35	0.6	1.5	3.0	4.0	5.0

在低压设备作业时，人体与带电体的安全距离不低于 0.1m。当高压设备接地故障时，室内不得接近故障点 4m 以内，室外不得接近故障点 8m 以内，进入上述范围的人员必须穿绝缘靴，接触设备的外壳和构架应戴绝缘手套。

1.2.2.6 高压电气设备带电部位对地距离不满足设计标准时，周边必须装设防护围栏，门应加锁，并挂好安全警示牌。在做高压试验时，必须装设围栏，并设专人看护，非工作人员禁止入内。操作人员应站在绝缘物上。

1.2.2.7 当发觉有跨步电压时，应立即将双脚并在一起或用一条腿跳着离开导线断落地点。

1.2.2.8 在地下敷设电缆附近开挖土方时，严禁使用机械开挖。

1.2.2.9 严禁用湿手去触摸电源开关以及其他电气设备。

1.2.2.10 为防止发生电气误操作触电，操作时应遵循以下原则：

- (1) 停电：断路器在“分闸”位置时，方准拉开隔离开关。
- (2) 验电：先检验验电器是否完好，并设监护人，方准进行验电操作。
- (3) 装设地线：先挂接地端，再挂导体端。拆除时，则顺序相反。严禁带电挂（合）接地线（接地开关）。

1.2.2.11 严禁无票操作及擅自解除高压电气设备的防误操作闭锁装置，严禁带接地线（接地开关）合断路器（隔离开关）及带负荷合（拉）隔离开关，严禁误入带电间隔。

1.2.2.12 风力发电机组变、输电线路杆塔应按规定悬挂“高压危险”等标识牌。所有需要停电的作业，在一经合闸即送电到作业点的开关设备操作把手上应挂“禁止合闸，有人工作”标识牌。

1.2.2.13 在电感、电容性设备上作业前或进入其围栏内工作时，应将设备



充分接地放电后方可进行。

1.2.2.14 维护风力发电机组的发电机电气回路前，必须停电、验明三相确无电压，并装设接地线和悬挂标识牌；在对风力发电机组进行电气测试的时候，要通知到作业现场的每一个人；对于永磁直驱型发电机组，检修发电机系统任何部件前必须可靠机械锁定叶轮。

1.2.2.15 测量风力发电机组网侧电压和相序时必须戴绝缘手套，并站在干燥的绝缘台或绝缘垫上；风力发电机组启动并网前，应确保电气柜柜门关闭，外壳可靠接地。

1.2.2.16 雷雨天气不应安装、检修、维护和巡检风力发电机组。若在风力发电机组上工作时发生雷雨，应及时撤离；来不及撤离时，可双脚并拢站在塔架平台上，不得触碰任何金属物体；风力发电机组遭雷击后 1h 内不得接近该机组。

案 例

违章作业勾扳手 拉弧放电人受伤

● 事故经过

某风电场两名员工到风电机组塔底从事更换 UPS 及网侧滤波电容工作，两人将风电机组转入维护状态，对电容器组进行了放电，用万用表检测工作部分确无残余电压后，开始更换工作。工作快结束时，在塔筒外等后的驾驶员听到塔筒内传来爆炸声，并有白烟冒出，随后在塔底工作的二人从塔内跑出，身上工作服着火，在驾驶员的帮助下将二人身上的火扑灭并拨打了急救电话，本次事故造成一人重伤、一人轻伤。

● 事故原因

(1) 工作人员在工作结束恢复接线过程中，不慎将使用的钢质扳手掉落到变流器 690V 进线电缆附近，员工甲违章拆除电缆外部安全防护挡板，用螺丝刀勾取扳手，螺丝刀两端误碰带电的 A 相母排和变流柜体，造成单相接地并拉弧放电，弧光引燃的工作服将甲、乙二人烧伤。

(2) 不办理工作票在风电机组和电气设备上作业。

● 预防措施

(1) 风电机组变频器的断路器、主接触器断开后，断路器、主接触器与电网侧相连的母排、导电轨等属于带电设备，严禁违章移动、拆除、破坏安全防护以进入带电区域。

(2) 严禁不办理工作票在风电机组和电气设备上作业。严禁超出工作票规定的工作范围和工作流程进行作业，特殊情况确需扩大作业范围和安全措施的，必须重新办理工作票。

(3) 在开工前工作负责人应现场对工作班成员逐条进行危险点分析和安全交底，工作过程中，工作负责人应对工作班成员执行安全措施的情况进行监督检查，工作班成员之间要相互监督检查，及时发现和制止不安全行为。

1.3 防止物体打击事故

1.3.1 通用措施

1.3.1.1 进入生产现场人员必须进行安全培训教育，掌握相关安全防护知识，从事手工加工的作业人员，必须掌握工器具的正确使用方法及安全防护知识，从事人工搬运的作业人员，必须掌握撬杠、滚杠、跳板等工具的正确使用方法及安全防护知识。

1.3.1.2 进入现场的作业人员必须戴好安全帽。人工搬运的作业人员必须戴好安全帽、防护手套，穿好防砸鞋，必要时戴好披肩、垫肩、护目镜。

1.3.1.3 高处作业时，必须做好防止物件掉落的防护措施，下方设置警戒区域，并设专人监护，不得在工作地点下面通行和逗留。上、下层垂直交叉同时作业时，中间必须搭设严密牢固的防护隔板、罩棚或其他隔离设施。高处作业必须佩带工具袋时，工具袋应拴紧系牢，上下传递物件时，应用绳子系牢物件后再传递，严禁上下抛掷物品。高处作业下方应设警戒区域，并设专人监护。

1.3.1.4 高处临边不得堆放物件，空间小必须堆放时，必须采取防坠落措施，高处场所的废弃物应及时清理。