

FENGDIANCHANG ANQUAN ZUOYE
JI ANQUAN GONGQUJU

风电场安全作业 及安全工器具

张劭 许蔚 尧波 王春胜 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

FENGDIANCHANG ANQUAN ZUOYE
JI ANQUAN GONGQIJU

风电场安全作业 及安全工器具

张励 许蔚 尧波 王春胜 编



中国电力出版社

CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书结合风力发电生产过程的特点,从普遍认同的“本质安全”理念的人、机、环、管四个方面入手,对风力发电运行维护、检修试验阶段的安全要求进行了详细的梳理,紧密结合各阶段的安全生产要求,提出了风力发电安全工器具配置的整体方案,并对风电生产中通用个人安全防护工器具和普通型电力安全工器具的使用提供了详细的指南。

本书注重实用性和指导性,可作为风力发电一线运行维护人员及检修试验人员的培训教材,也可供从事风电生产相关工作的人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

风电场安全作业及安全工器具/张勋等编. —北京:中国电力出版社, 2015. 10

ISBN 978-7-5123-8289-3

I. ①风… II. ①张… III. ①风力发电-发电厂-安全生产
IV. ①TM62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 223576 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京九天众诚印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2015 年 10 月第一版 2015 年 10 月北京第一次印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 7.875 印张 200 千字

印数 0001—4000 册 定价 65.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

能源和环境是全球共同面临的重大问题，加快开发利用可再生能源是解决人类能源和环境问题的必由之路。风力发电作为技术最成熟、最具规模开发和商业化发展前景的可再生能源之一，其发展速度居于各种可再生能源之首。目前，我国风资源丰富地区的风电场建设也得到了快速的发展。

安全是一个永恒的主题，它是人类最重要、最基本的要求。安全生产既是人们生命健康的保障，也是企业生存与发展的基础，更是社会稳定和经济发展的前提条件。在电力行业，由于其发、供、用同时进行的特殊性和高风险性，因此，也决定了其更需要重视安全生产。

多年来，经过不断地总结和改进，电力行业已形成了较完善的安全生产保障体系和安全生产监督管理体系。而作为电力生产重要场所之一的风电场，与常规的火电厂和水电厂相比，其安全生产既具有电力行业的普遍性，又具有其特殊性。

电力安全工器具是用于电力基建、运行、检修、维护等工作时必备的专用工器具，其主要作用是：有效保护一线员工的生命安全；保护现场设备的安全，防止或有效降低可能发生的事故或事件，保证电力设备高效、安全、可靠运行。

近几年，随着我国风电场建设的迅猛发展，安全生产方面

存在的一些问题也集中暴露出来。为此,笔者结合风力发电安全生产的特点,从普遍认同的现代安全理念即“本质安全”的人、机、环、管四个方面入手,对风力发电运行维护和检修测试中的安全作业要求进行了梳理,紧密结合风电场的安全生产的实际情况,提出了风力发电生产过程中安全工器具配置的整体方案,并对通用个人防护用品及专用安全工器具的使用作了详细说明。

本书共4章,第1章简要介绍了我国风电发展现状、风电系统特点以及风电系统安全生产现状(由许蔚编写);第2章围绕本质安全的人、机、环、管四个方面阐述了风电生产安全作业的基本要求(由许蔚、张劭、尧波编写);第3章介绍了风力发电生产中通用个人安全防护工器具的使用;第4章介绍了普通型电力安全工器具的使用(第3、4章由张劭、许蔚、尧波编写)。全书由许蔚统稿,尧波、王春胜对图表进行了筛选和绘制。

本书可作为风电行业的安全生产工作的参考书。同时,希望业内同行结合风电特点,共同探讨安全工器具的配置与使用,为风电系统的安全生产添砖加瓦。

在本书的编写过程中,得到了苏州热工研究院有限公司、大唐新能源有限公司、华能新能源股份有限公司和苏州龙源白鹭风电职业技术培训中心的大力支持与帮助,大唐赤峰新能源有限公司、华创风能有限公司、大唐电白新能源有限公司、中国电力国际有限公司、华能山西风力发电有限公司、华能启东风力发电有限公司等单位在现场调研和技术支撑等方面提供了支持与协助。除此之外,编写过程中还得到河北安电电力器材有限公司和常州新兰陵电力辅助设备有限公司的特别支持和协助,霍尼韦尔安全防护设备(上海)有限公司、上海诚格安全防护用品有限公司以及凯比特安全设备(上海)有限公司在产品样本等方面给予了鼎力帮助。在此表示衷心的感谢。编写本

书的过程，也是我们不断学习的过程，由于编者的知识、经验有限，书中难免存在错误与不妥之处，敬请广大读者和同行们批评指正。

编者

2015 年 1 月

目 录

前言

1	概述	1
1.1	我国风力发电的基本情况	1
1.2	我国风力发电的安全生产现状	8
2	风电机组的安全生产作业	12
2.1	风电生产阶段的安全要求	12
2.2	风机内作业的安全要求	29
2.3	塔外高处作业的安全要求	38
2.4	电气作业的安全要求	52
2.5	机械作业的安全要求	61
2.6	液压系统作业的安全要求	69
2.7	动火作业的安全要求	73
2.8	起重吊装作业（吊车）的安全要求	79
2.9	受限空间内（轮毂）作业的安全要求	84
3	风电生产中通用个人安全防护工器具的使用 ...	88
3.1	高处作业用器具	90
3.2	电气作业用器具	153
3.3	焊接作业用器具	177
3.4	有毒有害环境作业用器具	185
3.5	粉尘环境作业用器具	194
3.6	噪声环境作业用器具	200

3.7	沙尘环境作业用器具	200
3.8	沼泽湿地环境作业用器具	201
4	风电生产中普通型电力安全工器具的使用 ...	203
4.1	基本绝缘安全工器具	203
4.2	辅助绝缘安全工器具	214
4.3	一般防护安全工器具	222
参考文献		243



概 述

1.1 我国风力发电的基本情况

1.1.1 我国风力发电的现状

风能源自于自然界中太阳的能量。太阳的辐射对地球表面不同纬度间造成的热量差异,加之地球的公转、自转以及地球表面地形结构环境等多种因素共同作用,使空气流动,而空气流动所形成的动能即成为风能。总之,只要地球存在,风能就是取之不尽、用之不竭的。早在远古时代,人类就已经对风能进行了多种研究与利用。近年来,由于对地球一次能源的过度依赖和使用,资源的有限性已被广泛认识与认知,因而风能的无限性及大量的存在使之成为人类寻求并利用的宝贵资源。经过长期的研究、开发、利用,风力发电技术已经成为一门成熟的技术,在世界各地被普遍应用。尤其在环境保护形势日益严峻、一次能源储存及可利用量日益减少的今天,风力发电在发达国家的能源结构中已经举足轻重。

国民经济的飞速发展依赖于能源,其中电能被称之为先行官,就足以说明其在国民经济发展中的地位。我国国民经济经过 30 多年的高速发展,已经具备了较为强大的经济实力,同时也开始暴露出一些问题。大量采用煤电等不可再生的一次能源作为经济发展的动力,不仅给我国的能源需求带来越来越多的问题,而且对



于环境的影响也日益突出，甚至开始危及国民健康，近年多次爆发的大面积灰霾天气，无论是生理上还是心理上都使人喘不过气来。由于灰霾微粒极小，经呼吸可以粘附在人的肺泡及气管上，长期生活于灰霾中，癌症及心血管疾病的发生率会直线上升，严重影响着人民的健康和社会的稳定。为此，国家坚持科学发展观，从可持续发展的长远考虑和整个国计民生出发，结合目前国际国内的能源技术发展水平，提出了相应的大力发展新能源的激励政策，这也是解决我国乃至人类社会发展与能源及环境之间的矛盾与问题的必由之路。在诸多新能源中，核能和风能是相对技术发展较为成熟的，而风力发电则是目前技术最成熟、环境负面影响最小、最具有市场竞争力、极具发展潜力的新能源发电技术。风能是清洁的可再生能源，发展风电对于改善国家能源结构、保护生态和生存环境、保障国家能源安全、确保国家经济的可持续发展具有极其重大的意义，因此，国家高度重视风电产业的发展，已经把发展风电作为调整能源结构、转变发展方式、应对全球气候变化、实现可持续发展的重要举措加以实施，积极推动风电产业的发展。面对近年来风电产业出现的某些问题，政府相关部门通过政策调整，进一步规范管理，使风电产业逐步呈现了有序、健康的新局面。

我国风力发电的规模化始于改革开放。经过全套引进国外成熟的风电设备和技术，再通过消化、吸收、改造、创新等一系列过程，逐步形成了从基础研究开发、装备制造及技术工艺、风带及风况评定、风场选址与设计、风场基础建造、风电设备安装调试、风机并网投运及技术处理直至风机运行维护与检修的一整套风力发电行业体系。目前，我国在役投运的风机既有国外进口的，也有国内自主生产的和中外合资生产的，品牌、机型、机种呈多样化。但是，仍应清楚地认识到，由于规模化起步较晚，基础理论研究深度有限，仿制多于自主创新，加之各装备生产单位的生产水平、质量控制、安装调试等存在较大差异，

同时风机运行的客观环境又千差万别，因此，我国风电行业从设备生产到基建、安装、调试、运行、维护、检修等各个阶段的现状与世界先进水平相比还有一定的距离，尚需逐步完善。

根据“十二五”规划，在“十二五”期间通过推动能源生产和利用方式的变革，强调新能源产业的重点就是发展新一代核能、太阳能热利用和光伏光热发电、风电技术，以电价支持、优先并网、费用分摊等多项优惠政策有效地推动风电发展，使之进入全面、快速、规模化发展的新阶段。目前，非化石能源与一次能源比重为8%，到“十二五”结束将达到11.4%，到2020年将达到15%。截至2012年底，我国风电装机为6083万kW。到“十二五”期末，风电装机容量将达到1亿kW，2020年将达到2亿kW，在我国电力装机中的比例将达到11%。由此可见，“十二五”规划及中长期规划给我国的风电发展提供了一个跨越式发展的大舞台。

中国地域辽阔，蕴藏着丰富的风能资源。根据中国气象局的观测数据，经过地理信息系统（GIS）空间分析后，得到风能资源等级为2、3、4级和离地面高度为50、70、100m的风能资源技术开发量见表1-1。如果考虑3级及以上（风功率密度 $\geq 300\text{W}/\text{m}^2$ ）的风功率密度条件的地区可供开发，则全国陆上（不包括青藏高原海拔高度超过3500m以上的区域）可供风能资源技术开发量为20~34亿kW。另外，在水深不超过50m的条件下，中国近海100m高度层达到3级以上风能资源可满足的风电装机容量约5亿kW。

表 1-1

中国陆地风资源技术开发量

亿 kW

离地面高度	4级及以上（风功率密度 $\geq 400\text{W}/\text{m}^2$ ）	3级及以上（风功率密度 $\geq 300\text{W}/\text{m}^2$ ）	2级及以上（风功率密度 $\geq 200\text{W}/\text{m}^2$ ）
50m	8	20	29
70m	10	26	36
100m	15	34	40



1.1.2 我国风能分布的特点

在风能的形成中,首先,由于日地距离及方位的差异而产生的温差、气压差导致空气流动,构成气压梯度力,并形成闭合环流圈;同时,地球的自转形成地转偏向力而导致信风的产生。气流在气压梯度力和地转偏向力的共同作用下,构成地球表面的气压带和气体环流圈。这是风能产生于大气环流的主要原因。

其次,季风环流也是风能产生的重要原因之一。季风是由于盛行风向或气压系统随季节变化而导致风力发生明显变化的特点,是季节气候的主要反映。季风环流主要是由于海陆分布的热力差异以及宇宙行星风带的季节转换而形成的。我国是典型的季风丰富的国家:冬季,主要在西风带影响之下,主要是西北风为主;夏季,西风带北移,南方为大陆热低压带控制,副热带高压由海洋迁移至大陆,这时主要是西南气流控制我国大陆大部分地区;春、秋季则为过渡季节。此外,海陆分布以及西部青藏高原对我国的季风环流也产生重要影响。冬季,大陆高压气压梯度较大,夏季,热低压的气压梯度较弱;由此,我国季风形成冬季风强夏季风弱的重要特征。鉴于这一特征,我国风电场的选址、运行都必须认真及充分考虑此因素。

再次,涉及具体的风电场,局部地区性环流的因素也是重要的风能要件之一。无论海陆风抑或山谷风都会对主风向的分布产生影响。

而我国风能资源分布的特点也是由我国特定的宏观地理位置和微观地形地貌决定的。

宏观上,我国属于欧亚大陆板块东部,东临太平洋,海陆之间热力差异巨大,南北方分别受到大陆性气候和海洋性气候的相互影响,季风现象明显。北方表现为温带季风气候,冬季

受来自陆地的冷干气流影响，寒冷干燥，夏季温暖湿润；南方表现为亚热带季风气候，夏季受来自海洋的温湿气流影响，降水较多。

南部沿海地区在东北信风带和夏季热低压的共同影响下，主风向为东风和东北风，由于夏季低压气压梯度较小，因此，风力不大，风能较小。

东南部沿海地区与台湾岛在台湾海峡地区形成独特的狭管效应，而该地区恰巧又处于东北信风带上，其主风向与台湾海峡一致，风力在此地区明显加速，风力增大，风能资源丰富，具有较好的风能开发利用价值。

东部沿海地区基本处于副热带高压控制之下，气压梯度小，同时又受海洋性气候影响，大风持续时间短且不稳定，风能资源开发利用潜力一般。

中部内陆地区由于自身地理位置和地形地貌的限制，风能资源较为贫乏。

西北部地区、北部地区及东北内陆地区（主要包括新疆、甘肃、宁夏、内蒙古、黑龙江、吉林、辽宁、山西北部、陕西北部及河北北部等）由于纬度较高，处于西风带控制之下，加之冬季受北方高压冷气团影响，主风向为西风和西北风，风力强度大，持续时间长，又因为海拔较高，风能衰减较小，因此具有较好的风能开发利用价值。

影响我国风能资源的主要气候因素有两个方面。一方面，在冬季由经北冰洋、西伯利亚、蒙古国的蒙古高压，形成大范围的大风降温天气，一般是一条经河套、华北、华中由长江中下游入海，袭击我国大部分地区，冷空气所经之地连续大风、降温并常伴有风沙；另一条经华北北部、东北平原、然后东移进入日本海，致使渤海、黄海、东海出现东北大风，也给长江以北地区带来大范围大风、降雪及低温天气；另一方面，在夏季，东南沿海地区常受到热带气旋的影响。每当台风登陆后，



沿海可以产生一次大风过程，而风速基本上在风力发电机组切出风速（ 2.5m/s ）范围内，是一次满发的好机会。

纵观我国总体风能分布，我国的主要风能丰富区首先当指“三北”（即东北、华北、西北）地区，可开发利用的风能储量约为2亿kW，约占全国可利用储量的79%。而且，“三北”地区风电场地形平缓，交通便利，没有破坏性风速，是我国连成一片的最大的风能资源区，有利于大规模开发风电场。

冬春季的冷空气、夏季的台风都能影响到沿海及其岛屿，这些地区也是我国的风能丰富区，年有效风功率密度在 200W/m^2 以上，可利用小时为7000~8000h，且风能丰富地区仅在距海岸50km之内。

内陆有一些地区受湖泊和特殊地形的影响，风能也较为丰富。此外，青藏高原腹地及云贵高原海拔3000m以上的高山地区，风力资源也较为丰富，但普遍存在以下不利因素：海拔高，适用风机少，交通不便，施工难度大等。

我国海上风能资源丰富，海上风速高，很少有静风期，易于有效利用风电机组发电容量。我国海上风能丰富区主要集中在江浙沿海，福建沿海及广东东部沿海，紧靠负荷中心，具备高发电量的特点。

一般而言，台风、低温、积冰、雷暴、沙尘暴等都是直接影响风能利用的灾害性天气，这些恶劣天气在我国各主要风场都普遍存在，也成为风力发电场安全工作的重要防范要点。

1.1.3 影响风力发电的主要因素

（1）风速是影响风力发电的首要因素。单位时间内空气移动的距离被称之为风速。风速涉及平均风速、瞬时风速、最大风速、极大风速等多种描述，在风能系统中，国际上习惯采用10min平均风速来描述，即空间某一点，在给定的时间段，一般平均风速所取的时段至少在几分钟以上（如10min平均风速，

小时平均风速) 各次观测的风速之和除以观测次数。

$$\bar{V} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i$$

式中: $\bar{V}$ 为平均风速; V_i 为风速观测序列; n 为平均风速计算时段内(年、月或日)风速序列个数。

风速是时时变化的。国际上通常采用威布尔(Weibull)分布来评估风资源,分析平均风速的日、月、季、年及年际变化。

(2) 除了风速,风向也是评估风能的主要参数之一,国际上通常以方位表示法和度数表示法来表示。通过分析统计风向分布的特点,判断风能分布的情况。

(3) 风能的大小还与空气密度、通过的面积和气流速度的立方成正比;风功率密度的大小与空气密度、气流速度的立方成正比。它们也是影响风力发电的主要因素。因此,在风能和风功率密度计算中,最重要的因素是风速,当风速增加1倍,风能或风功率密度就增加7倍。比如:当风速为8m/s时,风功率密度为314W/m²;而当风速达到16m/s时,风功率密度即达到2509W/m²。

流体的动能与流体的质量成正比,因此,空气的动能取决于空气密度,即单位体积的空气质量,也就是说,空气质量越大,其动能越大。

(4) 风能还受到地表的粗糙度、风切变指数、近地层湍流等因素的影响。

综合以上方方面面的条件与因素,全面地分析和评估风电场的基本条件,进而确定风机的机组选型和机组布置。

不同的风电场具有不同的外部环境,其中包括风力状况及气候因素等,因此,风电场业主必须依据不同的现场条件对风电机组制订不同的设计要求,这也就必然导致提出不同的安全等级,也就为风电场的建造、运行及检修等提出了不同的安全工作要求。

风电机组的设计一般是依据参考风速(10min平均值)及测定的较高湍流强度等级、中等湍流强度等级、较低湍流强度等



级及 15m/s 时的湍流强度进行综合平衡后确定的。

在机组选型方面主要依据的是 50 年一遇最大风速和湍流强度这两个指标。当风电机组位置确定后,就必须对现场风况条件进行安全性评估,这是风电场安全工作的重要依据。由于风电场情况各异,安全工作也就存在差异性,这是必须认真归纳和编制差异性安全管理与具体工作的重要参考点。

1.2 我国风力发电的安全生产现状

从能源需求和国家能源安全角度来看,目前,风能已成为我国新能源的一个重要组成部分,在我国能源结构中位列第三。从国家发展规划要求也可以看到,在未来的十年或更长一段时期,国家对风能的需求仍有较大的容量规划,仍处在一个大发展的阶段。另外,近年的高速发展也暴露出风电行业的一些问题。不论是进口机组还是合资、国产的机组,各类事故时有发生。除去风电场弃风等运行技术事故,仅安全生产事故就已造成较大的财产损失和多起人员伤亡,对风电行业的形象带来较为恶劣的影响。风电场较为多发的事故有:风塔倒塔、风机燃烧、电器柜着火、起重机吊臂断裂、机组飞车倒地烧毁、发电机后轴承破裂、发电机前轴承前移、蓄电池电压低至失电、塔筒法兰折断、机组叶尖超速着火等。其中不乏设备生产质量事故和安装调试事故,也有一定数量的运行维护作业事故。

鉴于以上所述,风力发电系统的安全生产就凸显其重要性。为此,应根据目前风电生产的现状,结合国家对安全生产作业“以人为本”和“人—机—环—管”的本质安全管理理念要求,通过对各环节的剖析,认真分析风电行业的种种情况,以安全评估和辨识为基本手段,从本质安全的 4 个方面入手,对风电行业的各方面加以梳理,有针对性地就个人安全防护用品与通用防护用品的正确配置与使用有一个较为清晰的条理,以确保

风电生产全过程中的人身安全。

其一，需要进一步提高风机设备的生产制造水平，在“以人为本”的安全生产管理理念下，应保证风机设备无安全隐患。除少量的全进口机组外，目前在运的风电装备、设备大多是合资或国产的。国外装备、设备有其优点，但也存在一定问题，国外设备发生事故也非一两次，风电业主需要和设备供应商或承包商沟通给予解决。合资或国产设备方面，由于国内风电的系统理论研究成熟程度尚待提高，加上在风电装备消化、吸收、改进、创新方面受我国总体装备制造业本身的水平限制，因此装备、设备的制造水平有待进一步提高。这是保证风电系统安全生产的基本条件。无论哪种风机，都应该在确保设备可靠性和风机正常运行的前提下，突出装备、设备的人员安全防护和人性化设计，尽可能地避免、最好是消除“装置性违章”，从根本上消除人员或设备事件的可能性或事故隐患。

其二，我国风电行业的人员结构有待进一步优化。一方面，风电行业规模化起步时的骨干人员都是从常规电厂转业而来，这部分人员有着十分丰富的电厂运行维护及检修经验，有较为深厚的发电理论和实际应用底蕴，为风电的大规模投运奠定了较为扎实的基础，做出了重要的贡献。但同时也应看到，这些骨干人员对风电的认识与理解也需要一个接触、发现、积累、总结的过程，简单搬抄原有电厂的经验显然是不可行的。尤其是在风电安全生产和人员安全防护方面，风电生产有其独特之处，需要清楚地认识和重新界定、评估，提出符合风电特点的技术措施和组织措施，以确保安全生产。另一方面，目前风电企业的新员工绝大部分是既没有常规电厂工作经验、又没有风电场实际作业经验，刚刚走出校门的大中专毕业生。这部分人员的特点是有一定的理论认识，接受新生事物和对新事物的理解和反应较为迅速，但由于我国现行教育体系的现状和特点，他们对于安全生产的认知理解与相关的技术措施、组织措施及