

全国各类职业学校水利水电专业规划教材  
国家级示范学校示范专业规划教材

# 风电场运行与维护

●主编：高海涛 李彬

FENGDIANCHANG  
YUNXING YU WEIHU

中国商业出版社

全国各类职业学校水利水电专业规划教材  
国家级示范学校示范专业规划教材

# 风电场运行与维护

主 编 高海涛 李 彬

中国商业出版社

图书在版编目(CIP)数据

风电场运行与维护/高海涛,李彬主编. —北京:  
中国商业出版社, 2014. 7

ISBN 978 - 7 - 5044 - 8428 - 4

I. ①风… II. ①高…②李… III. ①风力发电 - 发  
电厂 - 运行②风力发电 - 发电厂 - 维修 IV. ①TM614

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 060051 号

责任编辑:蔡凯

中国商业出版社出版发行

010 - 63180647 www. c - cbook. com

(100053 北京广安门内报国寺1号)

新华书店总店北京发行所经销

北京市书林印刷有限公司印刷

\* \* \* \* \*

开本:787 × 1092 毫米 1/16 印张:16 字数:300 千字

2014 年 7 月第 1 版 2014 年 7 月第 1 次印刷

定价:36.80 元

\* \* \* \* \*

(如有印装质量问题可更换)

## 前 言

当今,风能的开发利用正经历着前所未有的规模和速度,风力发电的经济效应和社会效应已经凸显。为加强风电专业的快速发展,适应我校课程改革的要求,针对风电行业的岗位需求,以及学生所掌握的技能知识,我们以现场工作过程为导向的现代职业教育课程改革理念,结合新疆的风电分布和地域特点组织编写本书,使我校风力发电工程专业的办学特色得以凸显,专业教学特点得以充分体现,学生的职业素质得到快速提高。

内容编写充分考虑现行风力发电场运行维护工作工岗位技能和风力发电场运行与维护学习领域(课程)的关系。专业核心技能方向课是专业技术岗位专业知识的综合体现,是在风电场机电设备运行与维护专业课程完整的一个学习领域,以职业任务和现场工作过程为导向,充分调动学生主体性的学习和实践。重视学生校内知识学习与实际工作的一致性,教材在内容、目标和考核要求等方面形成一个完整的系统,加强学习与实践的针对性,强调理实一体教学模式。根据技术领域和职业岗位的任职要求,参照相关的职业资格标准,设置课程体系和选择教学内容;采用项目教学法,分任务实施,加强综合技能的培养训练,处理好理论与实践运用的关系,多介绍现场工作出现的问题,陈述性知识和过程性知识相互融合,力争做到教师能适应,学生可接受,真正能实施;教材的内容和形式有利于学生的全面发展和长远发展。通过本教材的系统学习,进一步巩固学生对风力发电基本知识的掌握,使他们能够获得独立学习和自主学习的能力,构建一个“懂技术、能深造”的良好学习型人才培养模式,为终身学习创造条件。

本书由高海涛、李彬担任主编,在编写过程中由于时间仓促、水平有限,我们的主观愿望与实际成果之间难免存在差距,希望广大读者多提宝贵意见。

编者

2014年7月

# 目 录

概述 .....	(1)
<b>学习情境一 风电场运行监控 .....</b>	<b>(9)</b>
一、熟悉 SCADA 监控系统 .....	(12)
二、熟悉 WSPCS-1000 风电有功智能控制系统的操作 .....	(19)
三、学会使用金风中央监控系统软件 .....	(23)
四、风功率预测系统 .....	(41)
五、风电企业生产指标体系 .....	(44)
六、监控运行中的要求及注意事项 .....	(50)
<b>学习情境二 风电场变电站正常运行 .....</b>	<b>(53)</b>
一、风电场 110kV 变电站电气运行 .....	(56)
二、生产指挥系统运行 .....	(64)
三、监控运行安全运行管理 .....	(65)
<b>学习情境三 风电场变电站倒闸操作 .....</b>	<b>(67)</b>
一、变电站倒闸操作过程 .....	(70)
二、变电站倒闸操作标准 .....	(73)
<b>学习情境四 风电场变电站巡检与维护 .....</b>	<b>(80)</b>
一、工作前准备 .....	(82)
二、巡视与维护工作过程 .....	(83)
三、巡视工作的终结 .....	(93)
<b>学习情境五 风电场配电线路巡检与维护 .....</b>	<b>(95)</b>
一、风电场配电设备巡检和维护工作过程和标准 .....	(96)
二、巡视过程中的安全注意事项 .....	(102)
<b>学习情境六 风力发电机组试运行 .....</b>	<b>(107)</b>
一、风力发电机组试运行前的准备工作 .....	(109)
二、风力发电机组试运行的任务实施过程 .....	(113)
三、风力发电机组试运行完成后进行验收 .....	(114)

四、验收注意事项 .....	(115)
五、风力发电机组试运行与验收试验报告 .....	(115)
<b>学习情境七 风力发电机组正常运行</b> .....	(119)
一、熟知风电机组正常运行状态与工作参数的安全范围 .....	(121)
二、正常开停机准备 .....	(122)
三、风力发电机组正常开停机过程 .....	(123)
四、风力发电机组运行的安全控制 .....	(126)
五、风力发电机组的正常运行操作 .....	(130)
六、风力发电机组的工作环境及基本润滑要求 .....	(133)
<b>学习情境八 风力发电机组异常运行</b> .....	(142)
一、了解风力发电机组异常运行的原因 .....	(143)
二、异常运行的处理要求和过程 .....	(144)
<b>学习情境九 风力发电机组巡检与维护</b> .....	(149)
一、风力发电机组的巡检 .....	(150)
二、风力发电机组的维护 .....	(153)
三、风力发电机的维护 .....	(164)
四、风力发电机组变桨系统的维护 .....	(165)
五、风力发电机组偏航系统的维护 .....	(175)
六、风力发电机组液压系统的维护 .....	(177)
七、风力发电机组齿轮箱的故障维护 .....	(185)
八、控制与安全系统的维护 .....	(190)
<b>附录一 变桨距液压系统原理图</b> .....	(215)
<b>附录二 风力发电机安全手册</b> .....	(216)
<b>附录三 风电场应具备的技术图纸和图表</b> .....	(230)
<b>附录四 风电场工作具备的票种</b> .....	(231)
<b>附录五 风电场发电量每月报表</b> .....	(235)
<b>附录六 记录簿格式</b> .....	(238)
<b>附录七 风电场定期维护周期表</b> .....	(241)
<b>附录八 风电场各级人员岗位职责</b> .....	(243)
<b>附录九 风力发电场文明生产要求</b> .....	(246)
<b>结语 对国内风电场运营情况的反思</b> .....	(247)
<b>参考文献</b> .....	(250)

# 概 述

随着风电产业的飞速发展和技术的不断进步,对风电行业现代化科学管理的要求也在不断提高,而如何科学管理风电场;如何安全、经济地运行和维护风电机组;如何提高设备健康水平和利用率、延长设备寿命,使设备创造最高的经济价值,已越来越引起行业人士的关注和重视。针对新疆区域风电场的特点,结合风电场运行中先进的方法及理念,科学、高效地进行风力发电场运行与维护,对风电场的经济和技术指标有至关重要的作用,也是风电场运营管理的核心工作。

风电场是集机械、电气、空气动力学、液压技术、计算机远程控制等为一体的综合高科技产品生产平台。学习一些机械、电工电子、液压和自动化技术的基础知识,对我们的学习很有帮助。风力发电机组各部分紧密联系,息息相关。风力机维护的好坏直接影响到发电量的多少和经济效益的高低;风力机本身性能的好坏,也要通过维护检修来保持,维护工作及时有效可以发现故障隐患,减少故障的发生,提高风机效率。随着科技的进步,风电事业的不断发展。风机也由原来的引进进口设备,发展到了如今自己生产、设计的国产化风机。伴随着风机种类和数量的增加,新机组的不断投运,旧机组的不断老化,风机的日常运行维护也是越来越重要。

## 一、风电场运行与维护学习领域(课程)的重点

介绍风电场机电设备的运行和维护的实用生产技术。主要包括三个方面的内容:①风电场运行;②风电机组的运行;③风电机组的维护及故障处理。

### (一)风电场运行

风电场的运行是一个集成化的管理。风电场是由研发、制造、投资、运行等多个主体通过技术服务相互交叉、协作,共同围绕提高风电机组的发电量,设备的可靠性及降低人员和设备维护成本等工作,最终保证风电投资建设的回报,为社会持续不断地提供绿色、环保、优质的清洁能源。科学管理风场是保证风电机组经济、可靠运行的首要条件,而加强风电场的安全管理、人员管理和设备管理则是管理工作的重中之重。

1. 安全管理。安全是一切效益的前提。树立“安全第一、预防为主”的安全理念,为员工植入“防”的安全意识,使每位工作人员都能充分认识到安全在工作中的重要性和必要性,积极推动企业安全文化建设。加强“两票三制”的管理,以健全完善的规章制度、周密细致的防范措施、充分的安全技术和强大的安全投入,杜绝人身和设备事故,避免不必要的经济损失。

2. 人员管理。要把“以人为本”的工作理念贯穿于安全生产工作的始终,强调工作人员安全意识和工作行为的主动性,落实生产人员生产责任制,不断提升安全、生产工作中对“人”

的重视程度。加强对生产运行人员的培训，提高运行人员的专业技术水平，在抓好内部培训的同时，要求运行经验丰富的员工以“传、帮、带”的形式进行现场讲解，与其他风场进行技术交流和互动，找出提升员工工作技能的最有效方法。

3. 设备管理。电力设备管理是指对发供电设备从安装、运行、管理等各个环节，全面保证安全发供电，全面加强质量管理和提高设备的可靠性，控制和减少机组非计划停运时间，提高设备的可用系数。

## (二) 风电机组的运行

1. 要深入培养运行人员“主人翁”意识。运行过程中运行人员要时刻掌握着设备的运行状态及影响设备运行的各种因素，对风电机组的安全、经济运行直接负责，不仅要求运行人员具有综合性的技能，更要他们具有高度的责任感和“主人翁”意识。充分调动运行人员的工作积极性，强化技术监督，不断夯实安全生产基础，确保机组稳定运行。

2. 提高运行分析能力。运行人员业务素质的高低是促进设备安全，经济运行的第一要素。首先，运行人员对设备运行状况要掌握，熟悉设备、熟记设备运行参数，要掌握生产管理的各类标准，清楚运行工作程序，提高监盘、巡视质量，加强培养运行人员及时发现问题的能力。运行人员应积极做好运行分析工作，掌握科学的运行分析方法，熟悉运行分析内容，既要设备正常运行时做出正确的分析，一旦设备出现异常时，应能初步判断设备故障类型及其影响的范围，在第一时间对问题做出处理。定期开展风电场运行分析会，对于存在的问题提前找出应对的办法，避免故障的发生或扩大化。结合风电场实际，根据风资源的变化和发展的规律，不断地摸索风力机组变化和发展规律，增强对设备运行状况、未来自然环境和风资源状况的预测性。

3. 结合实际，加强风力机组状态检测，增强故障诊断技术。运行人员要利用风力机组先进的监视和控制方法，及时观测和采集风力机组运行状态下各个部件电气、机械和物理数据，对发电机运行过程与状态下各个部件的运行参数进行对比分析，对机组运行情况进行调整以及非正常或事故状态下控制，在初始阶段，检测出机组缺陷，综合进行诊断和趋势分析，应有计划地安排检修，减少停机，避免事故发生，延长机组平均无故障时间和缩短平均修理时间，降低维修费用，提高可用系数。

## (三) 风电机组的维护及常规故障处理

风力发电机组的质量是决定风电场发电量和维护成本的重要因素，机组在运行过程中会产生不同程度的磨损、疲劳、变形或损伤，随着时间的延长，它们的运行状态会逐渐变差，性能也会逐渐下降。机组的检修与维护作为设备管理的重要环节是延长设备寿命，确保生产正常运行，防止事故发生的重要保证。首先要了解风电机组故障的特点和发生规律，从而制定科学、合理的检修维护方式及策略，才能对风电机组进行高效的检修与维护。

1. 风电机组的故障特点。风电机组故障呈复杂多样性，故障发生受外界环境因素影响较大，尤其是骑龙山处于高寒地区，风电场场址海拔相对较高，初春、入冬季后风机叶片和风速仪极易结冰等现象，而且风力发电机大部分的重要部件都在机舱内，空间狭小且高空作业，必须借助专业工具和大型机械设备进行处理，导致了故障处理的局限性。通过监测风电机组故障的规律和变化趋势，从而制定正确的检修、维护方式，安排合理的检修方式和计划，从而有效地控制和降低故障发生率，减少不必要的经济损失。



2. 风电机组的检修方式。根据风力机的故障,可分为早期故障、偶发故障和耗损故障,针对不同的故障检修方式分为:500 小时维护、定期维护(即二、三类保养)和故障后维护(即事后维修)。早期故障也可以理解为“早期磨合期”,在此期间故障率较高,此故障主要因设计、制造上的缺陷所致,也可能由于运行人员维护不当造成。针对此问题,在风电机组 500 小时维护时应加强巡视,即时发现隐患即刻处理。当风电机组运行第一年,风电机组运行趋于平稳,运行人员应严格执行检修计划,做好风电机组的定期保养与维护工作,尤其是发电机、齿轮箱、偏航系统的维护。风电机组运行第二年,运行人员对风电机组检修与故障排查已基本掌握,这时需要对风电机组易损部件做好充裕准备,减少因设备更换导致的停机时间。风电机组运行第三年,风电机组进入故障的偶发期,运行人员必须针对不同的故障进行分析和维修处理,下大力气消除设备安全隐患,提高维护人员的消缺水平。风电机组运行第五年,风电机组将进入耗损期。风电机组的主要部件发电机轴承、液压系统的液压管、横梁、钢丝绳、刹车片、变桨距电机等产生磨损。在此期间,运检任务较为繁重,在加强巡检的同时,运行人员需不定期进行检修处理,避免小隐患演变成大事故。在设备使用后期,由于设备零部件受到磨损、疲劳、老化、腐蚀等不良因素影响,故障率将不断上升,笔者认为在风电机组已进入耗损故障期,部件进入快速劣化状态,维护管理除了做好常规保养外,可实施纠正性维修和技术改造,从而延长大修理周期,降低风电机组的故障率,提高风电机组运行的经济性。

3. 风力发电机维修策略的选择。在长时间的运行当中对不同机组的维修应该采取不同的维修策略,例如,液压系统的维护和电子模块是机组故障的多发区,尤其是在高寒、高湿度地区,需着重考虑液压系统及电子模块的维修综合成本。在所有因素中,时间是选择维修策略的首要之选,由于各个风电场的选址不同、风电机组的特点不同、大风天的时段不同等特征,各个风电场在制定维修计划时要充分用于小风季节统筹安排检修计划。同时为了保证风电机组达到最大出力,可以采取必要的技术手段,确保在风小或无风时进行设备消缺和故障处理,减少风电机组停运时间,避免电量损失,为公司创造更大的经济效益。

风电场的运营维护及风电场的故障处理,需要不断地探索和总结经验,在确保风力发电机组安全稳定运行的同时,要细化风电场管理流程,强化对标管理,积极推进风电机组设备的技术改造,才能制定出一套更加符合自己风电场的运行维护策略。

## 二、市场经济环境下的风电教育现状

鉴于在市场经济环境下,各生产企业间存在着激烈的竞争,各生产企业均将新设计、新材料、新工艺作为商业秘密对待。对于有关新设计、新材料、新工艺方面的内容了解不可能详尽,可能无法满足一些学习者的需求。一个产品的加工工艺方法往往不是唯一的,没有最好只有更好,只能起到抛砖引玉的作用。

## 三、风电场的发展情况

20 世纪 80 年代中期开始进入风力发电市场的定桨距风力发电机组,主要解决了风力发电机组的并网问题和运行的安全性与可靠性问题,采用了软并网技术、空气动力刹车技术、偏航与自动解缆技术,这些都是并网运行的风力发电机组需要解决的最基本的问题。由于功率输出是由桨叶自身的性能来限制的,桨叶的节距角在安装时已经固定;而发电机转速由电网频率限制。因此,只要在允许的风速范围内,定桨距风力发电机组的控制系统在运行过程中对由于风速变化引起输出能量的变化是不作任何控制的。这就大大简化了控制技术和相应的

伺服传动技术,使得定桨距风力发电机组能够在较短时间内实现商业化运行。

20世纪90年代开始,风力发电机组的可靠性已经大大提高,变桨距风力发电机组开始进入风力发电市场。采用全变桨距的风力发电机组,启动时可对转速进行控制,并网后可对功率进行控制,使风力机的启动性能和功率输出特性都有显著的改善。由风力发电机组的变桨距系统组成的闭环控制系统,使控制系统的水平提高到一个新的阶段。

由于变距风力发电机组在额定风速以下运行时的效果仍不理想,到了20世纪90年代中期,基于变距技术的各种变速风力发电机组开始进入风电场。变速风力发电机组的控制系统与定速风力发电机组的控制系统根本区别在于,变速风力发电机组是把风速信号作为控制系统的输入变量来进行转速和功率控制的。变速风力发电机组的主要特点是:低于额定风速时,它能跟踪最佳功率曲线,使风力发电机组具有最高的风能转换效率;高于额定风速时,它增加了传动系统的柔性,使功率输出更加稳定。特别是解决了高次谐波与功率因数等问题后,使供电效率、质量有所提高。

随着计算机技术与先进的控制技术应用到风电领域,控制方式从基本单一的定桨距失速控制向变桨距和变速恒频控制方向发展。

目前的控制方法是:当风速变化时通过调节发电机电磁力矩或风力机桨距角使叶尖速比保持最佳值,实现风能的最大捕获。控制方法基于线性化模型实现最佳叶尖速比的跟踪,利用风速测量值进行反馈控制,或电功率反馈控制。但在随机扰动大、不确定因素多、非线性严重的风电系统,传统的控制方法会产生较大误差。因此近些年国内外都开展了这方面的研究。一些新的控制理论开始应用于风电机组控制系统。如采用模糊逻辑控制、神经网络智能控制、鲁棒控制等,使风机控制向更加智能方向发展。

资讯一:2010年中国风电场重大新开工项目纵览(见附件一)

资讯二:“十二五”期间,风电的发展是国家重点鼓励、重点支持的领域。这也是未来重要的新兴产业。国家会给予更多的投入,采取更多的鼓励政策,推进风电发展,确保“十二五”非化石能源比重占比11.4%目标的实现。

2011年10月19日,《中国风电发展路线图2050》(以下简称《路线图》)正式发布,指出从2011年到2050年,风电带来的累计投资将达12万亿元。

《路线图》描绘了未来风电发展三个阶段的战略目标:

《中国风电发展路线图2050》各阶段目标

时间段	发展策略	年新增容量 (万 kW)	累积容量 (亿 kW)	占总装机	占总发电量
2011-2020	陆上风电为主、近海(潮间带)风电示范为辅	1500	2	10%	5%
2021-2030	陆海并重	2000	4	15%	8.4%
2031-2050	全面发展	3000	10	26%	

第一个阶段,从2011年到2020年,风电发展以陆上风电为主、近海(潮间带)风电示范为辅,每年风电新增装机达到1500万千瓦,累计装机达到2亿千瓦,风电占电力总装机的10%,风电电量满足5%的电力需求。

第二个阶段,从2021年到2030年,在不考虑跨省区输电成本的前提下,风电的成本低

于煤电，风电的发展重点是陆海并重，每年新增装机在 2000 万左右，累计装机达到 4 亿千瓦，在全国发电中的比例达到 8.4%，在电源结构中的比例扩大到 15% 左右。

第三个阶段，从 2031 年到 2050 年，实现东中西部陆上风电和海上风电的全面发展，每年新增装机 3000 万千瓦，占全国新增装机的一半左右，风电装机总量达 10 亿千瓦，在电源结构中占 26%，风电成为中国主力电源之一。

根据上述战略布局，到 2050 年风电开发当年投资可到 4276 亿元，累计投资可达 12 万亿元。

在风电补贴政策方面，风电需要的上网电价补贴将在未来十年内先逐渐上升，再逐渐下降，在 2015 年前后达到峰值，未来十年需要累积补贴 2100 多亿元；2020 年前后陆上风电上网电价将达到与脱硫燃煤标杆电价持平的水平；2020 年之后，风电补贴将主要投向海上风电。

对此，《路线图》特别强调，陆上风电与煤电的比较，如果考虑跨省区输电成本，风电的成本将仍高于煤电；若考虑煤电的资源环境成本，风电的全成本将低于煤电的全成本。

和煤电相比，风电的社会环境效益非常明显，从温室气体减排的角度来看，未来三个阶段的发展目标对应的减排量分别为 3 亿吨、6 亿吨和 15 亿吨，风电带来的就业岗位达到 72 万人。

#### 四、新疆风电产业发展情况

最新评估报告显示，新疆风能的总装机容量相当于 4.5 个三峡水电站（总投资 954.6 亿元人民币，安装 32 台单机容量为 70 万千瓦的水电机组，年均发电量 847 亿 kW·h，现为全世界最大的水力发电站）。



三峡水电站

我国陆地可开发风能为 32.26 亿千瓦，居世界首位，其中新疆陆上风能资源占全国总量的 37%，仅次于内蒙古。调查表明，新疆风能虽然分布面积不是最大，但风能资源品质好，风频分布较合理，破坏性飓风十分少见，且风功率密度（与风向垂直的单位面积中风所具有的功率）是其他地区的 2~3 倍。

专家发现，新疆多数地区风速变化规律是以春季最大，夏季次之，冬季偏小。但北疆额尔齐斯河河谷西部、额敏县老风口地区和达坂城谷地冬春季风较大，夏秋季略小。而冬春季多风，可弥补枯水期水能资源的缺乏。因此，新疆风能发电具有得天独厚的优势。

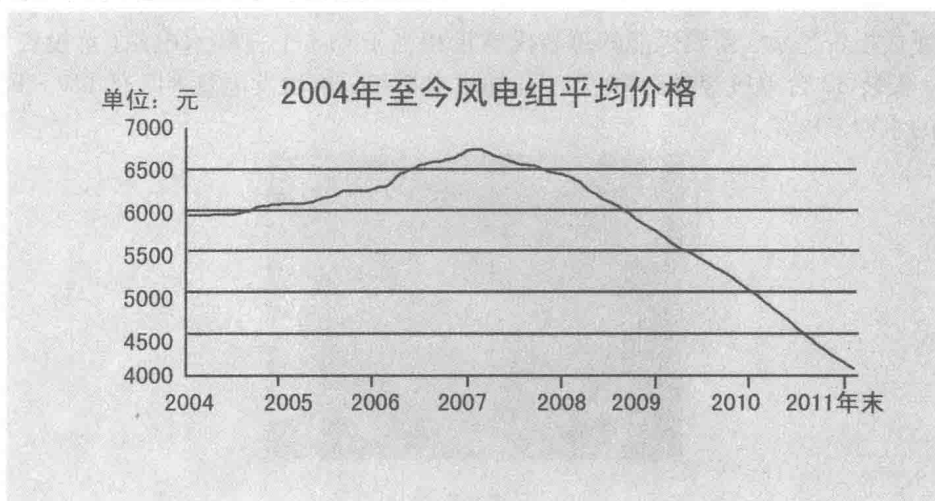
目前，已经有 13 个风电场接入新疆电网，新疆正在建设大型风电基地，同时要在全疆形成完整的风电产业链。

新疆规划到 2015 年风电装机将达到 850 万千瓦（亚心网数据）。

新疆境内 13 座风力发电场：

1. 新疆达坂城风电场——亚洲最大。
2. 华能新疆三塘湖风电场——巴里坤县,华能新能源股份有限公司。
3. 大唐新疆三塘湖风电场——巴里坤县,大唐发电有限公司。
4. 新疆华电小草湖风电场——托克逊县县城北约 25km。
5. 大唐新疆柴窝铺风电场。
6. 乌鲁木齐托里风电场。
7. 国电新疆阿拉山口乌兰达布森风电场。
8. 华能托克逊白杨河风电场二期 49.5MW 工程。
9. 塔城玛依塔斯风电场——塔城地区与国华能源投资有限公司签订合作开发。
10. 塔城老风口风电场。
11. 华电新疆哈密十三间房风电场有——是百里风区建设的首个风电场。新疆百里风区是指兰新铁路红旗坎站至了墩站间全长 123 公里的区间。
12. 新疆新华布尔津风电场。
13. 中广核新疆哈密烟墩风电场。

近年来风力发电机组的平均价格变化情况:



近年来风力发电机组的平均价格

我国各风电场中安装的风力发电机组的类型较多,主要有 Vestas、金凤、华锐、NEG/Micon、Nordex、Bouus、Tacke、Jacobs、Zond 等厂家的产品。机组单机容量从 55kW 到 2500kW 不等。各厂家采用部件不尽相同,无论是机械还是电控方面的部件相差很大。

目前,带齿轮箱风力发电机组主要有双馈式风力发电机组和全功率变频风力发电机组两种形式,其中双馈式风力发电机组市场份额超过 90%。

常用的三种风力发电机:直驱永磁发电机、双馈发电机和异步感应发电机。

全球权威风能产业研究机构 BTM 最新发布的 2009 年全球风电产业报告显示,2009 年全球新增风电装机 1380 万千瓦,在已装机的风力发电机组中,86% 的风力发电机组采用带齿轮箱的风力发电机组。在全球前十大风电设备生产企业中,有 VESTAS、GE WIND、华锐风电、GAMESA、东汽、SUZLON、SIEMENS、REPOWER 等八家企业采用齿轮箱技术。在直驱风电产品中,约 8.5% 的机组采用电励磁直驱方式,而永磁直驱不足 5%。目前,全球已并网运行的

800 多台海上风力发电机组,全部采用带齿轮箱的传动形式。

从目前国内的情况来看,带齿轮箱机组变桨变速双馈式风力发电机组的装机容量比例最大,代表厂家包括华锐风电、东汽、国电联合动力、明阳、上海电气和北重等,市场份额超过 80%;直驱式变桨变速型风机也有一定装机容量,代表厂家包括金风科技、湘电风能等。

新疆风电场中主要机型是双馈感应风力发电机和直驱永磁同步风力发电机,前者主要由风轮机、齿轮箱、双馈异步发电机和变频器组成,后者主要由风轮机、永磁同步发电机和变频器组成。

双馈型风力发电机组与永磁直驱风力发电机组的综合比较:

近年来风能的开发利用已得到世界各国的高度重视,技术和设备的发展很快,风力发电机组由最初的恒速恒频型发展到变速恒频型,发电效率有了显著提高。

恒速恒频型发电机组以异步发电机为代表,目前我国的风电场还在采用此种发电机,其主要优点是结构简单、成本低、过载能力强以及运行可靠性高,但是发电机的功率因数较低,因此一般要在输出端安装可投切的并联电容器组提供无功补偿。

	双馈型风力发电机组	永磁直驱同步发电机组
电控系统价格	中	高
电控系统体积	中	大
电控系统维护成本	高	低
电控系统平均效率	较高	高
交流单元	CBT,单管额定电流小,技术难度大	CBT,单管额定电流大,技术难度小
交流容量	仅需要全功率的 1/4	全功率逆变
交流系统稳定性	中	高
电网电压突然降低的影响	电机端电流迅速提高,电机转矩迅速增大	电流维持稳定,转矩保持不变
电机滑环	需每半年更换碳刷,2 年更换滑环	无碳刷,滑环
电压变化率	电压变化率高时需要进行电压过滤	无高电压变化
电机电缆的电磁释放	有,需要屏蔽线	无电磁释放
电机造价	低	高
电机尺寸	小	大
电机重量	轻	重
塔架内电缆工作电流类型	高频非正弦波,具有较大谐波分量,必须使用屏蔽电缆	正弦波
可承受瞬间电压范围	$\pm 10\%$	$\pm 10\%$ , $-85\%$
谐波畸变	难以控制,因为要随着电机转速的变化进行变频	容易控制,因为谐波频率稳定
50Hz/60Hz 之间的配置变化	交流滤波参数要调整,齿轮箱要改变变化	交流滤波参数要调整

变速恒频风力发电机组目前主要采用直接驱动同步发电机和双馈感应电机。单机的额

定容量远大于一般的异步发电机,对风能的利用率较高;但是控制较复杂。

目前,国内风力发电机组的单机容量已从最初的几十千瓦发展为今天的几百千瓦甚至兆瓦级。风电场也由初期的数百千瓦装机容量发展为数万千瓦甚至数十万千瓦装机容量的大型风力发电场。随着风电场装机容量的逐渐增大,以及在电力网架中的比例不断升高,对大型风电场的科学运行、维护管理逐步成为一个新的课题。风电场运行维护管理工作的主要任务是通过科学的运行维护管理,来提高风力发电机组设备的可利用率及供电的可靠性,从而保证电场输出的电能质量符合国家电能质量的有关标准。风电场的维护主要是指风力发电机组的维护和场区内输变电设施的维护。风电场的企业性质及生产特点决定了运行维护管理工作必须以安全生产为基础,以科技进步为先导,以设备管理为重点,以全面提高人员素质为保证,努力提高企业的社会效益和经济效益。

### **五、建议学习方法**

查阅大量的相关国家标准和出版物,阅读互联网上的相关文章,完成学校关于课程的实训和实习任务,加强自我学习能力,善于思考和总结。

# 学习情境一 风电场运行监控

## 【学习目标】

- ※ 1. 掌握风电场 SCADA 运行监控系统的运行与操作技能；
- ※ 2. 熟悉风电场运行工作的主要内容、技术要求；
- ※ 3. 了解风电场监控运行工作的注意事项；
- ※ 4. 熟练使用各种检测仪表和电工工具；
- ※ 5. 能对风电场运行数据进行检查和数据处理，能初步判断风电场运行的基本状况。

## 【相关知识】

随着风电场装机容量的逐渐增大，以及在电力网架中的比例不断升高，对大型风电场的科学运行、维护管理逐步成为一个新的课题。风电场运行维护管理工作的主要任务是通过科学的运行维护管理，来提高风力发电机组设备的可利用率及供电的可靠性，从而保证电场输出的电能质量符合国家电能质量的有关标准。风电场的企业性质及生产特点决定了运行维护管理工作必须以安全生产为基础，以科技进步为先导，以设备管理为重点，以全面提高人员素质为保证，努力提高企业的社会效益和经济效益。

### 1. 风电场 SCADA 监控系统

SCADA(Supervisor Control And Data Acquisition)系统，即数据采集和监控系统，它可以采集现场的数字量和模拟量并且可以对下位机所控制的现场进行现场或远端的实时监控，并提供必要的资料管理功能。

风电场 SCADA 通常指监视控制整个站点或分散在广袤地区的若干发电站点的集控系统，该系统软件用于在控制中心监视、控制、管理风力发电机组。LCO 以及 RCO 分别表示就地控制中心以及远程控制中心。当我们谈及 LCO 时，是指设置在风场站点的控制中心。对于 RCO，我们是指设置在其他地区的控制中心。我们的 SCADA 系统允许用户在就地控制中心以及远程控制中心监视、控制、管理风电机组或风场。

风电场中央监控系统由监控计算机(PC 机)、通信卡(CP5613)、PROFIBUS 通信电缆、总线连接器、光电转换器(OLM)、4 芯多膜光缆组成。通过与风电机组单机电气控制器(PLC)通信而获得数据，实现远程监控的目的。一般具有如下功能：系统功能 通信管理：系统自动与事先设定的风电机组建立通信连接，并具有通信中断后的自动重连接功能；监视功能：实时

监视可控风电机组的运行状态及运行数据；绘制曲线：绘制风速—功率曲线、风速分布曲线、风速趋势曲线；远控功能：在中央控制室实现对风电机组的远程开机、停机、左/右偏航、复位等功能；数据管理：机组运行数据自动存储与维护，自动生成报表，支持数据查询，具有数据导出功能；修改参数：远程修改风电机组运行参数。故障报警与处理：风机故障报警（视觉报警和红色警示条报警）、故障数据保存、故障现场数据读取显示。

## 2. 风电场运行监控规程制度

规程制定包括安全工作规程、工作票制度、操作票制度、交接班制度、巡回检查制度、操作监护制度、消防规程等。

风电场的运行记录包括日 24 小时发电曲线、24 小时风速变化、日有功发电量、日无功发电量、日场用电量及综合场用电量等。

相关记录包括运行日志、运行年、月、日报表，气象记录（风向、风速、气温等），缺陷记录，故障记录，设备定期试验记录，培训工作记录等。

### 1) 风电场值班制度：

1.1 风电场的值班方式，实行定期轮换值班制，值班人员编排由场长或副场长负责，未经允许不得调班。

1.2 风电场在值班时间内，均为 24 小时专人监盘；因倒闸操作、设备维护工作，也不可以全部离开主控制室，必须有一位值班人员坚守岗位，即在任何时候均能听到事故或异常运行音响信号和调度电话铃声。

1.3 在当班时间内，接调度指令，必须复诵，向调度汇报，必须准确无误，并作好记录，风电场的事故、障碍、异常运行处理及倒闸操作的调度联系，应进行录音。

1.4 值班人员值班期间，应遵守劳动纪律，坚守岗位，不得进行与值班无关的工作与活动，不得占用调度电话办理与值班无关的事。

1.5 当班值班人员应穿统一的工作服，佩戴值班标志，衣着整齐，不允许穿高跟鞋及拖鞋。

1.6 在当班时间内，值班人员必须按本制度要求做好运行维护工作。

1.7 脱离值班工作三个月及以上的人员，必须重新熟悉设备、系统及有关规程制度，经考试合格后，方能正式参加值班工作；对脱离值班工作不满三个月的人员，经熟悉设备及其系统后，即可正式恢复工作。

1.8 在值班时间内必须做好保卫、保密及安全生产工作：

A、局外人员进出风电场，必须遵守外来人员登记制度；

B、精神不正常的人员严禁进入风电场；

C、外单位来本站实习或施工的人员，须经风电场及公司领导同意；并由值班人员介绍安全注意事项后，方能按计划及规定的范围进行活动；

D、不准带小孩进入风电场；

E、由风电场内持出物件时，必须经风电场领导同意。

### 2) 风电场交接班制度：

2.1 运行人员必须按规定的轮值表进行值班，如有特殊情况，必须经场长批准方可变更，交接班要严肃认真，一丝不苟，交班人要为接班人员创造有利条件。

2.2 接班人员应提前十五分钟到岗，做好接班准备工作，因故未到和迟到时，交班人要坚守岗位，不得离岗。



2.3 交班人员发现时接班人员精神不正常,如酗酒、重病、心情极端不好等,不能胜任工作时,应拒绝交班,并将情况报告场长或上级领导。

2.4 交接班内容:与风场有关的系统情况及负荷情况;风场设备运行方式;设备变更和异常情况处理经过;新发现的设备缺陷及缺陷的发展变化情况;继电保护自动装置及仪表、通讯设备的运行情况;设备检修、试验、安装等作业情况;及许可的工作票、使用中的接地数量编号位置等;上级的指示命令及领发文件、钥匙、工具、材料、备品备件使用和变动情况;当值已完成和未完成的工作及相关措施;辅助设施和环境卫生情况。

2.5 交接人员应共同到现场检查以下工作:核对模拟图板与设备实际位置相符,对上值操作的设备进行检查,交接班双方共同检查设备,发现异常情况及时提出,检查继电保护运行情况,对信号及自动装置按规定进行试验,查看设备检修工作情况及安全措施是否完备,直流系统和交流系统运行情况,当交班时发生事故应立即停止交班,由交班人员负责处理,接班人员协助。办理工作手续和倒闸操作时不得进行交接班;交接班必须做到交接两清,双方一致认为无问题后,在记录簿上双方签字即告结束。

### 3) 风电场运行分析制度

3.1 分析设备运行异常现象如:放电、发热、异音、温度、油位、仪表指标异常、熔丝熔断、开关继电保护和自动装置误动等,特别要注意现象不明隐形异常。

3.2 分析设备绝缘降低,绝缘油变化或色谱分析等发现的问题。

3.3 分析设备运行方式和保护方式存在的问题及设备健康状况。

3.4 分析安全生产,执行规程制度情况和存在的问题。

3.5 分析检修、试验各种技术记录的有关情况。

3.6 分析安措、反措执行情况,维修与季节性事故预防情况。

3.7 分析无功补偿设备的运行和电压质量情况。

3.8 分析方法和时间:

(1)系统和设备发生异常现象由场长,技术人员负责及时召开专题分析会。

(2)参照前述分析内容,结合本所具体情况,进行定期分析,由场长主持,全场人员参加,每月至少进行一次。

(3)结合设备评级,每季度对每年设备进行一次综合分析,场长主持重点分析设备试验、检修、运行、缺陷处理情况,并对设备进行定级。

(4)对运行分析中的问题要做好记录,并向上级部门汇报。

### 4) 风电场运行维护值班员的基本素质要求

4.1 员工要热爱本职工作,工作态度积极主动,工作中乐于奉献、不怕吃苦。

4.2 经检查鉴定身体条件能够满足工作的需要,能够进行日常登高作业。

4.3 对各类风力发电机组的工作原理维护方法及运行程序熟练掌握,具备基本的机械及电气知识。

4.4 有一定的独立工作能力,能够独立对风力发电机组出现的常见故障进行判断处理,对一些突发故障有基本应变能力,能发现风力发电机组运行中存在的隐患,并能分析找出原因。

4.5 有一定计算机理论知识及运用能力,能够熟练操作常用办公自动化软件。能使用计算机打印工作所需的报告及表格,能独立完成的运行日志及有关质量记录的填写,具有基本的外语阅读和表达能力。