



高职高专“十二五”规划教材

——风电场运行与维护专业

# 风电场运行维护 与检修技术

刘靖 张润华 主编

王建明 主审

FENGDIANCHANG  
YUNXING  
WEIHU  
YU  
JIANXIU  
JISHU



化学工业出版社

## 高职高专“十二五”规划教材

### ——风电场运行与维护专业

# 风电场运行维护与检修技术

刘 靖 张润华 主 编  
王建明 主 审

图书在版编目(CIP)数据



化学工业出版社

·北京·

本书以典型风电机组为例,从具体工作任务出发,通过实用案例方式详细介绍了风电场运维中的各部件维护要点、工具使用、故障分析及处理。本书结构清晰,应用实例丰富、实用,实现了理论学习和具体应用的充分结合。

本书共包括 11 个项目,35 个任务,重点介绍了叶片、风轮轮毂与变桨距系统、风轮轴与齿轮箱、发电机、制动系统、液压系统、支撑系统、偏航系统、控制系统、升压变电站的运行维护及故障分析等。

本书可作为各高等院校、高等职业技术学院风电相关专业及新能源相关专业风电场运维课程的教材,也可以作为风电场运维技术的培训教材,还可供从事风电场运维的技术人员学习参考。

风电场运行维护与检修技术

主编 张润华 张靖  
审主 尹琳琳

### 图书在版编目(CIP)数据

风电场运行维护与检修技术/刘靖,张润华主编.  
北京:化学工业出版社,2015.7

高职高专“十二五”规划教材.风电场运行与维护专业

ISBN 978-7-122-23991-4

I. ①风… II. ①刘…②张… III. ①风力发电-发电厂-运行-高等职业教育-教材②风力发电-发电厂-维修-高等职业教育-教材 IV. ①TM614

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 101889 号

责任编辑:张建茹 潘新文  
责任校对:宋 玮

装帧设计:尹琳琳

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装:高教社(天津)印务有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 12 $\frac{1}{2}$  字数 307 千字 2015 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究

风能作为一种清洁的可再生能源,越来越受到世界各国的重视。全球风能资源总量约为 $2.74 \times 10^9$ 兆瓦,其中可利用的风能为 $2 \times 10^7$ 兆瓦。全球风电产业2011年新增风电装机容量达41,000兆瓦。这一新增容量使全球累计风电装机达到238,000兆瓦。我国风能储量很大、分布面广,开发利用潜力巨大。我国《可再生能源中长期规划》中2020年30000兆瓦的风电装机目标2010年提前实现。2011年风电上网电量715亿kWh,占全国总发电量的1.5%。2011年底,全国累计安装风电机组45894台,累计装机容量62.23GW。“十二五”期间,我国风电产业仍将持续每年10000兆瓦以上的新增装机速度,风电场建设、并网发电、风电设备制造等领域成为投资热点,人才缺口巨大。

在中国和德国政府技术合作框架内,2011年11月,中德合作风电项目进入第二阶段,项目总体目标是:改进公共和私营机构在全国范围内开发风力发电和可再生能源并网方面的有关专业技术及调控管理的能力。本项目是总体项目中的第三项“风电场运行和维护人员的培训与应用研究”。教育部能源类专业教学指导委员会新能源分教学指导委员会主任委员单位(现更名为全国机械职业教育教学指导委员会新能源装备技术类专业教学指导委员会,后简称:专指委):天津轻工职业技术学院,与德方项目执行机构GIZ签署项目执行协议,确定天津轻工职业技术学院、上海第二工业大学、酒泉职业技术学院和湖南电气职业技术学院作为核心成员。

2012年22名职业院校风电相关专业教师到新加坡南洋理工学院研修;2012年2月12日召开行业企业参加的座谈会,得到符合实际需求的企业信息;并在2012年3~4月间各院校调研本地区风电场运维职业的能力需求,在专指委秘书处的具体指导下,确定了风电场运行维护人才需求报告文件1份,并集中力量制定人才培养方案文件1份,确定了专业核心课程标准4份,在此基础上,专指委秘书处与GIZ制定了中德合作项目“酒泉+新加坡”培训方案,国内酒泉2012年7月11~15日,国外新加坡共和理工2012年8月5~15日。针对风能专业进行深入研究,接受相关专业建设理念,确定了调研报告和人才培养方案初稿,确定核心课程框架和基本内容;2012年9月在上海-苏州培训中,GIZ聘请的德国专家进一步介绍工作过程的课程开发内容,完成了四门核心课程标准的制定。

以上六个文件的完成,实现了中德双方制定的工作方案,解决了目前风力发电相关专业没有比较完整的教育教学体系问题,为实现“改进公共和私营机构在全国范围内开发风力发电和可再生能源并网方面的有关专业技术及调控管理的能力”目标奠定了框架基础。

针对上述四门核心课程,出版了教材《风电场运行维护与检修技术》主编刘靖、张润华;《风力发电机组的安装与调试》主编陈文明、叶云洋;《风电场建设基础》主编张振伟、冯黎成;《风电场计算机监测与控制》主编宋海辉。此套教材是中德合作项目的成果,将为我国高职风电教学奠定坚实的基础。

全国机械职业教育教学指导委员会  
新能源装备技术类专业教学指导委员会

2014年8月

# 前言

《风电场运行维护与检修技术》基于大型风电机组经典机型编写而成，涉及的内容主要包括风电机组运行维护与检修、变电站运行维护与检修的相关知识。全书重点介绍了叶片、风轮轮毂与变桨距系统、风轮轴与齿轮箱、发电机、制动系统、液压系统、支撑系统、偏航系统、控制系统、升压变电站的运行维护及故障分析等。

本书主要目的是培养学生风电场运行与维护岗位的职业能力、实践动手能力、解决实际问题的能力，通过本书的学习使其具备风力发电运行检修员的素质和能力。

本书包括 11 个项目，35 个任务，内容侧重实践，操作性较强，能够从行业现状、企业实际需求的角度对学生提出技能要求。本课程建议学时数为 52~80 学时。

本书由刘靖、张润华任主编，并负责全书的统稿工作；王建明任主审。参加编写的老师有李良君、沈洁、王智勇、于婷婷、赵元元、洪诚、姚嵩、王春媚。其中王智勇老师来自风电企业，具有丰富的实践经验。

书中部分内容的编写参照了有关文献，恕不一一列举，谨对书后所有参考文献的作者表示感谢。

限于编者水平和时间有限，书中定有不少疏漏和不足之处，恳请读者批评指正。

编者

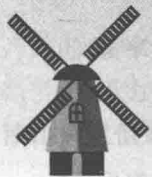
2015 年 4 月



# 目录

<b>项目一 风电场运维与检修认知</b>	<b>1</b>
任务一 运维与检修的工作认知	2
任务二 运维与检修市场调研	10
任务三 运维与检修安全注意事项	13
【习题、思考题】	14
<b>项目二 叶片运维与检修</b>	<b>15</b>
任务一 叶片的主要技术参数	15
任务二 叶片结构、材料	17
任务三 叶片特性认知及维护	22
任务四 防雷系统认知及其维护	27
任务五 叶片常见损坏及处理	30
【习题、思考题】	34
<b>项目三 风轮轮毂与变桨距系统运维与检修</b>	<b>35</b>
任务一 风力发电机轮毂的认识	35
任务二 风力发电机轮毂和变桨系统的连接维护	43
【习题、思考题】	51
<b>项目四 风轮轴与齿轮箱运维与检修</b>	<b>52</b>
任务一 主轴的运维与检修	52
任务二 齿轮箱的运维与检修	55
任务三 联轴器的运维与检修	74
【习题、思考题】	76
<b>项目五 发电机运维与检修</b>	<b>77</b>
任务一 发电机的维护	77
任务二 发电机噪声大故障判断及处理	87
【习题、思考题】	88
<b>项目六 制动系统的运维及检修</b>	<b>89</b>
任务 机械制动机构的运维与检修	89
【习题、思考题】	99
<b>项目七 液压系统运维与检修</b>	<b>100</b>
任务一 液压系统原理图认知	100
任务二 风力发电液压系统认知	102

任务三	液压系统的安装	107
任务四	液压系统的调试、保养与维修	115
【习题、思考题】		121
<b>☀项目八</b>	<b>支撑系统运维与检修</b>	<b>122</b>
任务一	机舱的认知及常见问题处理	123
任务二	塔筒的认知及常见问题处理	129
【习题、思考题】		132
<b>☀项目九</b>	<b>偏航系统运维与检修</b>	<b>133</b>
任务一	偏航系统的维护点认知	133
任务二	偏航系统紧固件的维护与检修	137
任务三	偏航刹车系统的维护与检修	140
任务四	偏航轴承的维护与检修	145
任务五	偏航控制驱动机构的维护与检修	148
【习题、思考题】		155
<b>☀项目十</b>	<b>控制系统运维与检修</b>	<b>156</b>
任务一	风电机组控制系统认知	156
任务二	风电机组的控制目标及功能	159
任务三	变桨控制模块维护与检修	161
任务四	控制系统主要传感器维护与检修	167
任务五	防雷接地系统维护与检修	171
任务六	电气保护维护与检修	173
【习题、思考题】		179
<b>☀项目十一</b>	<b>升压变电站运维与检修</b>	<b>180</b>
任务一	输变电系统运行检修（变压器）	181
任务二	直流系统故障处理	186
【习题、思考题】		188
<b>☀参考文献</b>		<b>192</b>



# 项目一

## 风电场运维与检修认知



### 项目引导 ▶▶▶

随着科技的进步，风电事业的不断发展，风电机组也由原来的引进进口设备，发展到了如今自己设计、生产的国产化风电机组。伴随着风电机组种类和数量的增加，新机组的不断投运，旧机组的不断老化，风电机组、风电场的运行、维护与检修也变得越来越重要。

风电机组是集电气、机械、空气动力学等各学科于一体的综合产品，各部分紧密联系，息息相关。风电机组运行维护（简称运维）的好坏直接影响到发电量的多少和经济效益的高低；风电机组本身性能的好坏，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，提高风电机组效率。

风电场现场如图 1-1、图 1-2 和图 1-3 所示，风电机组现场吊装如图 1-4 所示。



图 1-1 草原上的风电场



图 1-2 山地风电场



图 1-3 海上风电场图

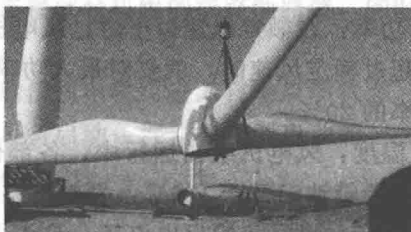


图 1-4 风电机组现场吊装





## 任务一 运维与检修的工作认知

### 一、任务要求

现有某地风电场，安装了 66 台单机容量为 1.5MW 的风电机组，要求 3~4 人为一组，通过查阅相关技术资料，撰写风电场的运行监视日志，并编制风电场日常维护记录表和定期检修记录表。

### 二、任务资讯

#### (一) 风电场的运行

##### 1. 风电机组的工作参数

风电机组如图 1-5 所示，其工作参数如下。

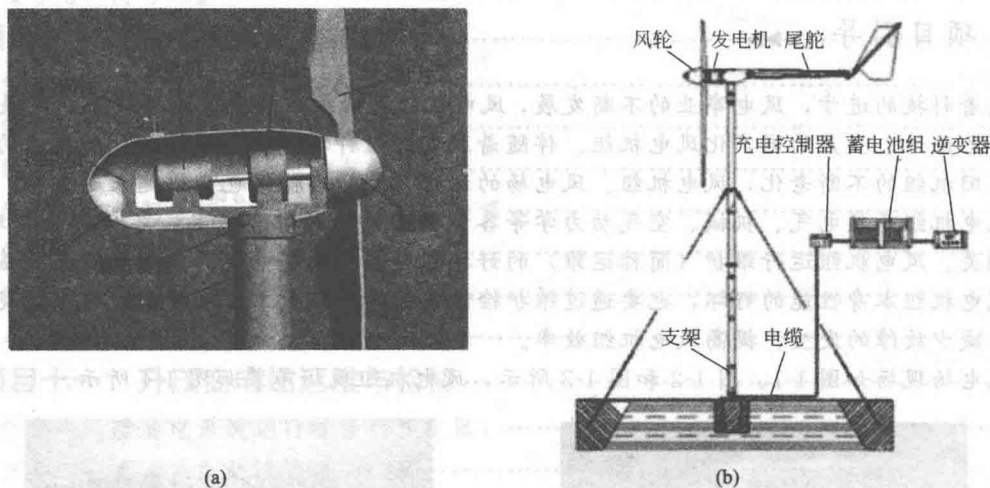


图 1-5 风电机组示意图

① 风速：自然界的风是随机的、无固定规律的。一般而言，当风速在 3~25m/s 范围内时，只对风电机组的发电有影响；低于 3m/s 时，机组难以正常启动工作；而当风速变化率太大，或者风速超过 25m/s 时，会对机组的安全产生威胁，需要采取保护措施。

② 转速：风电机组的风轮转速通常低于 40r/min，发电机的最高转速一般不超过额定转速的 30%，不同型号的机组，参数不尽相同。如果风电机组的转速超速，会对机组的安全性产生严重威胁。

③ 功率：在额定风速以下时，风电机组自动调节以使获得当前风速条件下的最大功率。当风速超过额定风速时，就要对最大功率进行限制性控制，通常，安全最大功率不允许超过额定功率的 20%。

④ 温度：风电机组在运行中，各部件会发热引起温升。通常，控制器环境温度为 0~30℃，齿轮箱油温低于 120℃，发电机温度小于 150℃，传动等环节温度小于 70℃。

⑤ 电压：风电机组发电电压允许误差范围为额定值的 ±10%，当瞬间值超过额定值的 30% 时，视为系统故障。

⑥ 频率：风电机组的发电频率限制在  $50 \pm 1$  Hz，否则视为系统故障。

⑦ 压力：风电机组的很多执行机构由液压机构完成，各液压系统的压力必须受到监控，液压额定值通常低于 100MPa。

## 2. 风电机组的启动、停机和并网

(1) 风电机组在启动投入运行前，应具备以下条件

- 电源相序正确，三相电压平衡；
- 偏航系统处于正常状态，风速仪和风向标运行正常；
- 制动系统和控制系统的液压装置的油压和油位在规定范围内；
- 齿轮箱油温和油位在正常范围内；
- 各保护装置均在正确位置，且保护设定值与批准设定值相符；
- 控制电源处于接通状态；
- 计算机处于正常运行状态；
- 叶轮上无结冰现象；
- 在寒冷和潮湿地区长期停用，以及新投入运行的风电机组，应先检查确定绝缘合格；
- 经过维修的机组，所有为维护、检修而设立的安全设施和措施已经拆除。

(2) 风电机组的启动、停机和并网

① 自动启停 当风电机组处于自动状态时，如果风速达到启动风速范围，风电机组将按计算机程序自动启动运行并入电网；如果风速超过正常运行范围，风电机组将按计算机程序自动与电网解列停机。

② 手动启停 当风速达到启动风速范围时，手动操作启动键或按钮，风电机组按计算机启动程序启动和并网；当风速超出正常运行范围时，手动操作停机键或按钮，风电机组按计算机停机程序与电网解列停机。

手动启停有以下 4 种操作方式：

- 主控室操作：在主控室操作计算机启动键或停机键。
- 远程操作：在远程终端设备上操作启动键或停机键。
- 就地操作：断开遥控操作开关，在风电机组的控制盘上操作启动或停机按钮，操作完成后再合上遥控开关。

• 机舱上操作：在机舱的控制盘上操作启动键或停机键，此方式仅限于调试时使用。

③ 异常停机 当发生异常情况时，需要立即停机。异常停机的操作顺序是：

- 利用主控计算机遥控停机；
- 遥控停机无效时，则就地按正常停机按钮停机；
- 当正常按钮停机仍无效时，采用紧急按钮停机；
- 上述操作均无效时，断开风电机组主开关或连接此台机组的线路断路器，同时疏散现场人员，做好必要的安全措施，避免事故范围扩大。

凡经手动停机操作后，必须再按启动按钮，才能使风电机组进入自动启动状态。风电机组在故障停机或紧急停机后，如果故障已经排除并具备启动条件，在重新启动前，必须先按重置或复位就地控制按钮，才能按正常启动操作进行启动。

## 3. 风电机组的运行

(1) 定桨距风电机组的运行 当平均风速高于 3m/s 时，风轮开始逐渐启动；风速升高



到  $4\text{m/s}$  以上时, 机组可自启动直到某一设定转速, 此时发电机将按控制程序被自动地联入电网。为提高发电机运行效率, 风电机组往往采用双速发电机, 低风速时小发电机工作, 高风速时大发电机工作。一般总是小发电机先运行并网, 当风速达到  $7\sim 8\text{m/s}$  时, 切换到大发电机运行并网。如果启动时平均风速在  $8\sim 20\text{m/s}$  范围, 则直接由大发电机运行并网。

从小发电机向大发电机的切换控制, 一般以平均功率或瞬时功率为预置切换点。

采用平均功率参数时, 机组一般以  $10\text{min}$  平均功率达到某一预置值  $P_1$  或  $4\text{min}$  平均功率达到预置值  $P_2$  作为切换依据。

采用瞬时功率参数时, 一般以  $5\text{min}$  内测量的功率值均大于某一预置值  $P_1$  或  $1\text{min}$  内的功率值均大于预置值  $P_2$  作为切换依据。小发电机向大发电机切换的过程为: 先断开小发电机接触器, 再断开旁路接触器。此时发电机脱网, 风力带动发电机转速迅速上升, 在达到同步转速附近时, 执行大发电机的软并网程序。

当发电机功率持续  $10\text{min}$  内低于预置值  $P_3$ , 或者  $10\text{min}$  内平均功率低于预置值  $P_4$  时, 将执行从大发电机向小发电机的切换。大发电机向小发电机切换的过程为: 先断开大发电机接触器, 再断开旁路接触器。由于发电机在此之前仍处于输出状态, 转速在同步转速以上, 脱网后转速将进一步上升, 应迅速接通小发电机接触器, 执行软并网, 由电网负荷将发电机转速拖到小发电机额定转速附近。由于存在超速保护和计算机超速监测, 因此只要转速不超过超速保护的设定值, 就允许小发电机软并网。

发电机的状态分为发电机运行状态和电动机运行状态。在调试期间无风时或者某些特殊情况下, 如气温过低, 又未安装加热器时, 要实施电动机启动。电动机启动是指风电机组在静止状态时, 把发电机用作电动机, 将机组启动到额定转速并切入电网。电动机启动可使用安装在机舱的上位控制器按钮, 或者通过主控制器件的启动按钮操作, 总是先作用于小发电机。电动机的启动时间不应超过  $60\text{s}$ , 启动电流小于小发电机额定电流的 3 倍。

## (2) 变桨距风电机组的运行

变桨距风电机组的叶片在静止时, 节距角为  $90^\circ$ , 此时气流对叶片不产生转矩, 叶片的作用等同于阻尼板。当风速达到启动风速时, 叶片向  $0^\circ$  方向转动, 直到气流对叶片产生一定的攻角, 风轮开始逐渐启动。在发电机并入电网前, 变桨距系统的节距给定值由发电机转速信号控制。转速控制器按一定的速度上升斜率给出速度参考值, 变桨距系统根据给定的速度参考值, 调整节距角, 进行转速控制。为确保并网平稳, 尽可能对电网产生较小的冲击, 变桨系统可在一定时间内, 保持发电机的转速在同步转速附近, 寻找最佳并网时机。

为使控制工程相对简单, 早期的变桨距风电机组在转速达到发电机同步转速前, 对叶片节距并不加以控制。在这种情况下, 叶片节距只按所设定的变距速度将节距角向  $0^\circ$  方向打开, 直至发电机转速上升到同步转速附近, 变桨距系统才开始投入工作。转速反馈信号与转速控制的给定值即同步转速进行比较, 当转速超过同步转速时, 叶片节距向迎风面积减小的方向转动, 反之则向迎风面积增大的方向转动, 当转速在同步转速附近保持一定时间后发电机即并入电网。

发电机并入电网后, 当风速低于额定风速时, 发电机在额定功率以下的低功率状态, 也就是欠功率状态运行。在早期的变桨距风电机组中, 为简单起见, 对欠功率状态并不加以控制, 此时的变桨距风电机组与定桨距风电机组相同, 其功率输出完全取决于叶片的气动性能。近年来, 为改善低风速时叶片的气动性能, 采用了新的技术, 可根据风速的大小调整发电机转差率, 使其尽量运行在最佳叶尖速比上, 以优化功率输出。

当风速达到或者超过额定风速后，风电机组进入额定功率状态。在传统的变桨距控制方式中，此时将转速控制切换到功率控制，变桨距系统开始根据发电机的功率信号进行控制。功率反馈信号与额定功率进行比较，当功率超过额定功率时，叶片节距会向迎风面积减小的方向转动，反之则向迎风面积增大的方向转动。

由于变桨距系统的响应速度受到限制，对于快速变化的风速，采用改变节距的方法来控制输出功率的效果不是很理想。为了优化功率曲线，后来设计的变桨距风电机组在运行功率控制时，其功率反馈信号不再作为直接控制叶片节距的变量。变桨距系统由风速的低频分量和发电机转速控制，风速的高频分量产生的机械能波动，通过迅速改变发电机的转速来进行平衡，即通过转子考虑控制器对发电机转差率进行控制，当风速高于额定风速时，允许发电机转速升高，将瞬变的风能以动能的形式储存起来，转速降低时，再将动能释放出来，使功率曲线更为理想。

### (3) 对风（偏航）和解缆

风电机组中，上风向机组大多是主动对风偏航的。当风向与机舱的夹角超过 $10^{\circ}$ 时，偏航系统动作，解开偏航刹车，然后对风（与机舱相连的电缆也会随之扭转，这一过程称之为扭缆），对风正确后再闭合偏航刹车。在风电机组长期运行中，有可能向某一个方向对风次数较多，而造成机舱的偏航系统扭缆。绕缆的圈数由扭缆传感器读取，并向风电偏航控制系统反馈，控制系统操纵解缆装置使机舱反向偏转同样的圈数，则电缆恢复正常连接状态。这一过程称为解缆。

## 4. 风电场的监视和记录

### (1) 日常监视

风电场运行人员的日常监视工作包括：

- 按时收听和记录当地天气预报，作好风电场安全运行的事故预想和对策；
- 通过中控室的监控计算机，监视机组的运行状态及各项参数变化，按规定认真填写《风电场运行日志》，当发现异常变化趋势时，应对异常机组的运行状态实施连续监视，并根据实际情况采取相应处理措施；
- 遇到常规故障，及时通知维护人员，根据气象条件作出相应的检查处理，并将相应的故障处理和验收情况，记录在《风电场运行日志》中。

### (2) 运行日志和故障记录

风电场必须建立日常运行日志，在日志中详细记录主要内容：

- 风电机组型号；
- 每日发电量；
- 风速及天气变化；
- 机组工作时数及关机时数；
- 发生故障日期、时间和故障持续时间；
- 故障类型、维修性质及采取的措施；
- 故障维修日期和所用时间；
- 更换的零件等。

每台风电机组都必须有故障记录表。当发生故障时，特别是发生不可自动复位故障时，必须详细记录故障类型、当时机组状态、外界条件（如风速、气候条件等）、所进行的处理和结果等，以备后查。



### (3) 风电场的巡视

运行人员应定期对风电场的机组、测风装置、升压站、高压配电线路等进行巡回检查,发现缺陷及时处理并登记在缺陷记录本上。定期巡视主要包括:机组在运行中有无异响、叶轮运行状态、偏航是否正常、电缆有无绞绕、塔架外表有无油污等。巡视过程中要根据设备近期的实际情况有针对性地重点检查,如:故障处理后重新投入运行、启停频繁、负荷大或温度偏高、带“病”运行、新投入运行的机组等。一旦发现故障隐患,要及时报告和处理,查明原因,以避免事故发生,减少经济损失,同时要对相应的巡视检查做好记录备案。

在下列情况下要对风电场进行特殊巡视:

- 设备负荷或过负荷明显增加时;
- 恶劣气候或天气突变后;
- 事故跳闸;
- 设备异常运行,或运行中有可疑现象;
- 设备经检修、改善或长期停用后,重新投入运行,以及新安装投入运行的设备;
- 阴雨天初晴后,检查户外端子箱、机构箱、控制箱的受潮结露情况;
- 临时通知及节假日。

### (4) 运行数据统计分析

对风电场设备在运行中发生的情况进行详细的统计分析是风电场管理的一项重要内容。通过运行数据的统计分析,可对运行维护工作进行考核量化,也可对风电场的设计,风资源的评估,设备选型提供有效的理论依据。

每个月的发电量统计报表,是运行工作的重要内容之一,其真实可靠性直接和经济效益挂钩。其主要内容有:风电机组的月发电量,场用电量,风电机组的设备正常工作时间,故障时间,标准利用小时,电网停电,故障时间等。

风电机组的功率曲线数据统计与分析,可对风电机组在提高出力和提高风能利用率上提供实践依据。例如,在对国产化某风电机组的功率曲线分析后,对后三台风电机组的安装角进行了调节,降低了高风速区的出力,提高了低风速区的利用率,减少了过发故障和发电机温度过高故障,提高了设备的可利用率。

通过对风况数据的统计和分析,可以掌握各型风电机组随季节变化的出力规律,并依此可制定合理的定期维护工作时间表,以减少风资源的浪费。

## 5. 风电机组工作状态之间的转换

风电机组的工作状态主要有运行、暂停、停机、紧急停机几个状态。为确保机组的安全运行,提高工作状态通常只能一层一层向上提,而降低工作状态则可以是一层一层向下降,也可以多层下降。用这样的过程来确定系统的每个故障是否被检测到。当系统在状态转变过程中检测到故障,则自动进入停机状态;当系统在运行状态中检测到致命性故障时,则立即从工作状态直接转到紧急停机状态,而不需要通过暂停和停机。

### (二) 风电场的维护

风电机组维护可分为日常维护和定期检修两种方式。

#### 1. 机组的日常维护

风电机组在运行当中,也会出现一些必须到现场去处理的故障,这样就可顺便进行一下常规维护。首先要仔细观察风电机组内的安全平台和梯子是否牢固,有无连接螺栓松动,控

制柜内有无糊味，电缆线有无位移，夹板是否松动，扭缆传感器拉环是否磨损破裂，偏航齿的润滑是否干枯变质，偏航齿轮箱、液压油及齿轮箱油位是否正常，液压站的表计压力是否正常，转动部件与旋转部件之间有无磨损，看各油管接头有无渗漏，齿轮油及液压油的滤清器的指示是否在正常位置等。

第二是听，听一下控制柜里是否有放电的声音，有声音就可能是有接线端子松动，或接触不良，需仔细检查；听偏航时的声音是否正常，有无干磨的声响；听发电机轴承有无异响；听齿轮箱有无异响；听闸盘与闸垫之间有无异响；听叶片的切风声音是否正常。

第三，清理干净自己的工作现场，并将液压站各元件及管接头擦净，以便于今后观察有无泄漏。

虽然上述的常规维护项目并不是很完全，但只要每次都能做到认真、仔细，就能防止出现故障隐患，提高设备的完好率和可利用率。

要想运行维护好风电机组，在平时还要对风电机组相关理论知识进行深入地研究和学习，认真做好各种维护记录并存档，对库存的备件进行定时清点，对各类风电机组的多发性故障进行深入细致分析，并力求对其做出有效预防。

## 2. 机组的定期检修

定期的维护保养可以让设备保持最佳时期的状态，并延长风电机组的使用寿命。定期检修维护工作的主要内容有：风电机组联接件之间的螺栓力矩检查（包括电气连接），各传动部件之间的润滑和各项功能测试。

风电机组在正常运行时，各联接部件的螺栓长期运行在各种振动的合力当中，极易使其松动，为了不使其在松动后导致局部螺栓受力不均被剪切，必须定期对其进行螺栓力矩的检查。在环境温度低于 $-5^{\circ}\text{C}$ 时，应使其力矩下降到额定力矩的80%进行紧固，并在温度高于 $-5^{\circ}\text{C}$ 后进行复查。一般对螺栓的紧固检查都安排在没有风或风小的夏季，以避开风电机组的高出力季节。

风电机组的润滑系统主要有稀油润滑（或称矿物油润滑）和干油润滑（或称润滑脂润滑）两种方式。风电机组的齿轮箱和偏航减速齿轮箱采用的是稀油润滑方式，其维护方法是补加和采样化验，若化验结果表明该润滑油已无法再使用，则进行更换。干油润滑部件有发电机轴承，偏航轴承，偏航齿等。这些部件由于运行温度较高，极易变质，导致轴承磨损，定期维护时，必须每次都对其进行补加。另外，发电机轴承的补加剂量一定要按要求数量加入，不可过多，防止太多后挤入电机绕组，使电机烧坏。

定期维护的功能测试主要有超速测试，紧急停机测试，液压系统各元件定值测试，振动开关测试，扭缆开关测试。还可以对控制器的极限定值进行一些常规测试。

定期维护除以上三大项以外，还要检查液压油位，各传感器有无损坏，传感器的电源是否可靠工作，闸片及闸盘的磨损情况等方面。

### （三）风电场的异常运行和故障处理

#### 1. 故障类别

风电场故障按结构分为以下几大类。

- 电控类故障：指传感器、继电器、断路器、电源、控制回路等发生的故障；
- 机械类故障：指风电机组机械部分的故障，如机组振动、液压装置、偏航机构、刹车装置等发生的故障；



- 通信远传系统故障。
- 从故障状态分为：
- 自启动故障（可自动复位）；
  - 不可自启动故障（需人工复位）；
- 报警故障。

## 2. 故障信息

为便于对故障进行处理，首先应该给每个故障定义相关信息，包括故障名称、对故障被检测的描述、当故障存在或没有恢复时的工作状态，以及故障复位情况（能自动或是手动复位，在机上或是远程控制进行复位）等。典型故障信息如表 1-1 所示。

表 1-1 故障信息典型表例

故障部位	故障内容	故障现象	故障原因	保护状态	自启动
控制系统故障—传感器	主接触器故障	主回路不通	线圈损坏	紧急停机	否
控制系统故障—电网	频率过高	电网频率高出设定值	电网波动	正常停机	是
机械系统故障—偏航	解缆故障	当偏航积累一定圈数后未解缆	偏航系统故障	正常刹车	是

## 3. 常见故障及其分析和处理

当标志机组有异常情况的报警信号发出时，运行人员要根据报警信号所提供的故障信息，以及故障发生时计算机记录的相关运行状态参数，分析查找故障原因，并根据当时的气象条件，采取相应的正确方法，及时进行处理，并在《风电场运行日志》上认真做好故障处理记录。

### (1) 常见故障

- 风电机组常见故障有：
- 风轮转动时发出异响；
- 风速达到额定风速以上，但风轮达不到额定转速，发电机不能输出额定电压；
- 风轮转动但发电机不发电（无电压）；
- 电压振荡；
- 风电机组正常运转，但输出电压低；
- 发电机过热；
- 机舱振动等。

(2) 故障原因分析 通过对风电机组各种故障深入的分析，可以减少排除故障的时间或防止多发性故障的发生次数，减少停机时间，提高设备完好率和可利用率。例如通过对 1.5MW 风电机组偏航电机过负荷这一故障的分析，得知有以下多种原因导致该故障的发生：首先，机械方面，有电机输出轴及键块磨损导致过负荷，偏航滑靴间隙的变化引起过负荷，偏航大齿盘断齿发生偏航电机过负荷等可能；其次，在电气上引起过负荷的原因有软偏模块损坏，软偏触发板损坏，偏航接触器损坏，偏航电磁刹车工作不正常等。又如，在对控制电压消失故障分析中，采用排除试验法，将安全链当中有可能引起该故障的测量信号元件用信号继电器和短接线进行电路改造，可能最后将故障原因定位在过速压力开关的整定上。

(3) 故障处理 故障的处理过程包括以下步骤。

- 故障检测：控制系统设在顶部和地面的处理器，都能够扫描传感器信号以检测故障，由故障处理器进行分类，并有选择地进行发送；

- 故障记录：故障处理器将故障存储在运行记录表和报警表中；

- 对故障的反应：分为三种——降为暂停状态，降为停机状态，或是降为紧急停机状态；

- 故障处理后重新启动：如果外部条件良好，此外部原因引起的故障状态可以自动复位。一般故障可以通过远程控制复位。如果操作者发现该故障可接受并允许启动风电机组，就可以复位故障。

有些故障是致命的，不允许自动复位或者远程控制复位，必须由工作人员到机组工作现场进行检查，将这些故障在风电机组内的控制面板上进行复位。故障状态被自动复位后10min将会自动重新启动。但一天之内发生的次数应有限定，并在控制面板上得以记录显示。

#### 4. 远程故障排除

风电机组的大部分故障都可以进行远程复位控制和自动复位控制。风电机组的运行和电网质量好坏是息息相关的，为了进行双向保护，风电机组设置了多重保护措施，如电网电压高、低，电网频率高、低等，这些故障是可自动复位的。由于风能的不可控制性，所以过风速的极限值也可自动复位。还有温度的限定值也可自动复位，如发电机温度高，齿轮箱温度高、低，环境温度低等。风电机组的过负荷故障也是可自动复位的。

除了自动复位的故障以外，其他可远程复位控制故障引起的原因有以下几种。

风电机组控制器误报故障；

- 各检测传感器误动作；
- 控制器认为风电机组运行不可靠。

#### (四) 风电场事故处理

风电场事故是指在风电场运行过程中所发生的涉及或可能涉及安全（包括设备设施等财产安全和人员安全）的违背人们意愿的事情或现象。在日常工作中，风电场应当建立事故预想制度，定期组织运行人员做好事故预想工作，根据风电场的特点，完善基本的突发事件应急措施，对突发事故尽力做到指挥有序、措施得当、应对沉着。

当事故发生时，值班负责人必须立即组织人员采取有效措施，防止事故进一步扩大，并及时向有关部门和人员上报，同时保护事故现场（特殊情况除外），以便于事故调查。事故发生后，运行人员还应认真详细记录事件经过，并及时通过风电机组监控系统获取反映机组运行状态的参数和动作记录，组织有关人员研究分析事故原因，总结经验教训，提出整改措施，并上报相关上级部门。

发生下列事故之一时，应立即采取停机处理。

- 叶片处于不正常位置，或相互位置与正常运行状态不符；
- 机组主要保护装置拒动或失灵；
- 机组因遭受雷击而损坏；
- 发生叶片断裂等严重机械故障；
- 制动系统发生故障。





当机组发生火灾时，运行人员必须立即停机并切断电源，迅速采取灭火措施，防止火势蔓延。当发生危及人员和设备安全的故障时，值班人员必须立即拉开相应断路器，并组织人员撤离到安全地带。

### 三、任务问题与思考

- ① 风电机组的运行参数？
- ② 风电场的日常维护和定期检修内容？
- ③ 风电场的常见故障及其分析和处理方法？
- ④ 风电场发生事故时的措施？

### 四、任务结果与评价

- ① 学生按小组分工撰写风电场的运行监视日志，并编制风电场日常维护记录表和定期检修记录表。
- ② 小组讨论，自我评述项目完成情况以及实施过程中发生的问题，小组共同讨论给出提高任务完成质量和效率的建议。
- ③ 教师对项目完成情况进行评分。

## 任务二 运维与检修市场调研

### 一、任务要求

3~4 人为一组，通过查阅相关资料、网上搜索，撰写截止上一年度的最新风电运维与检修市场报告。

### 二、任务资讯

#### (一) 运维与检修市场规模

在 2006 年到 2009 年期间，中国风电累计装机的增长率每年都超过了 100%，平均达 113%，2010 年新增装机容量近 1900 万千瓦，累计装机容量 4473.3 万千瓦，年同比增长 73.3%。虽然受经济形势的影响，从 2010 年开始，增速已开始放缓，2011 年下半年、2012 年和 2013 年上半年新增装机容量甚至出现了负增长，但自 2013 年下半年开始，风电国内行业开始回暖。2013 年全年新增装机容量 1609 万千瓦左右；比 2012 年增长 30% 左右；2014 年新增风电装机容量 1981 万千瓦，比 2013 年增长 23%。截至目前，已经在风场安装完成的风电机组数量巨大，累计并网装机容量达到 9637 万千瓦，而且每年还在以相当数量在增长。风电机组在质保期结束后，巨大的售后服务市场留给风电行业人士充分的想象空间。尤其是在风电装机容量的基数变大，增长速度减缓的情况下，服务市场更成为具有吸引力的市场之一。2001~2014 年中国风电年新增装机容量和累计装机容量如图 1-6 所示。

假设条件：

- ① 保守设想，到 2020 年全国累计装机目标实现 2 亿千瓦，未来平均每年装机 2000 万千瓦。
- ② 全国风力发电场平均年可利用等效发电时间为 2000h。