

Reliability Analysis for Wind Turbine

Haiyan Yang¹, Jianguang Zhou², Li Dang¹, Rongde Lin¹, Rongyi Liu¹

¹Wind Power Project Preparatory Office, Datang Xinjiang Power Generation Co., Ltd., Urumchi

²Hydroelectric Plant, Datang Hutubu Energy Development Co. Ltd., Changju

Email: 283656601@163.com

Received: Nov. 8th, 2012; revised: Dec. 24th, 2012; accepted: Mar. 12th, 2013

Copyright © 2013 Haiyan Yang et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: In this paper, it classifies all faults into general and serious failure in nacelle and hob control system. First, it evaluates the reliability of a system of wind turbine. Then, it assesses the reliability of electric control system by fault tree analysis, the conclusion is the highest failure rate of up to 20%, the lowest to 0.2%. In fact, in order to avoid accident and increase uptime, we should take Long-term and effective measures to periodical daily examination and maintenance. It gives guidance to operation and maintenance of wind turbines by fault tree analysis in order to improve reliability.

Keywords: Wind Power; Reliability; Analysis

风力发电机组可靠性的分析

杨海艳¹, 周家光², 党理¹, 简荣德¹, 刘荣义¹

¹大唐新疆发电有限公司风电项目筹建处, 乌鲁木齐

²大唐呼图壁能源开发有限公司水力发电厂, 昌吉

Email: 283656601@163.com

收稿日期: 2012年11月8日; 修回日期: 2012年12月24日; 录用日期: 2013年3月12日

摘要: 本文通过对风力发电机电控系统机舱柜、机塔柜和轮毂柜故障进行分类, 故障按照一般故障与严重故障进行分级处理, 对风力发电机组系统可靠性进行评估, 通过对电控系统可靠性运用故障树理论进行分析, 得出最高故障率可达20%, 最低为0.2%的结论。实际中应及时采取有效针对性强的措施对风机进行日常定检维护与故障处理, 可以很大程度上提高风机的正常运行时间。利用故障树分析方法对风力发电机组运行维护给予指导, 提高可靠性。

关键词: 风力发电; 可靠性; 分析

1. 绪论

当今是科技高速发展的时代, 全球能源供应紧张, 环境问题日益突出。由于风能具有储量巨大、分布广泛、清洁无污染和可再生的特点, 符合人类可持续发展的要求, 所以越来越受到世界各国和地区的广泛关注。能源供应和环境保护是经济持续发展的基本条件, 从能源的角度来看, 如果不重视可再生能源的

开发, 能源日益匮乏将会带来全球能源危机的恶劣影响。从环境保护的角度来说, 日益增长的能源消耗将带来越来越严重的环境问题。这个时候, 许多科学家的目光聚集到风力发电机上面, 去解决人类面临的能源危机与环境问题。然而风力发电机组一般处于恶劣的环境中, 所以对于风力发电机的可靠性的研究是很必要的^[1]。

可靠性的研究，目的在于提高风力发电机的正常运行工作时间，提高资源的利用效率，使得其最大的利用资源，为人类服务。关于可靠性，需要尽量全面的考虑可能导致不安全与故障的因素，避免发生控制系统失灵等现象。从理论上讲，人类要面临能源问题，风能是很大的可再生资源，风力发电机是能量的转换体系，研究风力发电机组的可靠性是有重要意义的。

2. 可靠性的要求

对于可靠性的分配原则一般可以按照技术程度、复杂程度与重要程度等进行分配，另外可靠度还受到费用、尺寸、重量等条件的约束，但是最终都是以最经济合算的代价来达到整个系统的可靠性要求，保证经济效益。对于具体的分配原则参考下面几条规则^[2]。

对于技术成熟的单元，使用的过程中能够保证其实现较高的可靠性，或者预期投入使用时可靠性有把握能够增长到较高水平，可以分配给较高的可靠度。对整个任务时间内均需连续工作以及工作条件严酷，难以保证很高可靠性的单元，则应分配给较低的可靠度。对于比较简单的单元，由于组成该单元零部件的数量相对比较少，组装的时候比较容易保证质量或者出现故障后易于修复，这样的单元也可分配给较高的可靠度。对于整个系统来说重要的单元失效后，将产生严重的后果的或者该单元失效常会导致全系统失效的，则应分配给较高的可靠度。对于风力发电机组电控系统来说，变桨系统、偏航系统等相对于其他加热系统来说比较复杂，对于控制系统来说重要程度比较高，应该设计合理的算法，设计中首先重点保证可靠性，分配给较高的可靠性指标。对于电瓶电量的检测与其开关信号等辅助装置设备，对于系统来说，重要度就没有变桨系统、励磁系统高，可分配给低的可靠度。另外比如测风系统，工作条件比较艰苦，可分配给低的可靠度。按照柜体来说的话，轮毂柜相对于机塔柜与机舱柜两个来说的话，完成重要的变桨等功能，需要分配给高的可靠性指标，机舱柜中的控制信号，相对于机塔柜中的处理信号来说的话，可靠性

要求就相对比较高。

3. 可靠性分析

一个完整的风力发电机主要部件是由风轮、低速轴、齿轮箱、高速轴、发电机、逆变器、机塔、变压器、电网、控制系统部件组成^[3]。其框图如下图 1 所示。对于有旋转机械部分的风轮 1、低速轴 2、齿轮箱 3、高速轴 4、发电机 5 来说，由于旋转部分的磨损问题，加上比如风轮所处的外界环境恶劣，可靠度分配为 0.93。对于风力发电机整个系统来说，机塔 9 是整个风力发电机的基础，对于风机起支撑作用，对其应该保证一定限度的重力支撑，同时承受振动限度，可以分配给高的可靠度 0.95。对于控制系统 10 来说的话，是整个风机的核心，关系到风机的安全性与经济性，也需要分配给高的可靠度 0.96。变压器 7 的可靠度分配为 0.97，电网的可靠度为 0.99，逆变器的可靠度分配为 0.96。经过分析总共有 3 个路集，可以推得如上所述的风力发电机的框图，如图 1 所示。利用可靠性基本知识，可以计算出风力发电机的可靠度为 0.99^[4]。

对于整个风力发电系统来说，如果任何一个环节失效都将使其发生故障，对于系统的作用上来说，各个系统应该是串联的结构，根据串联系统的可靠性知识，可得到风力发电机的可靠度仅为 0.59。虽然是从不同的出发点考虑问题，可以看到对于风力发电系统来说，如果有两个控制处理器的话，系统的可靠度可以得到很大的提高。

风力发电机组的控制系统是由测量装置、输入信号端子、输入模块、控制器、输出模块、控制输出端子、显示界面、交换机、远程监控系统、变桨偏航的各个子系统的执行机构等组成，具体的框图如图 2 所示。

根据可靠性的基本知识与查阅可靠性技术手册可知，电控系统中的元件都是属于指数分布的，那么根据可靠性的分配原则，对于 1、5、6、7、20 由于采用的是一个器件单独测量，再加上所处的环境恶劣，分配给稍微偏低的可靠度 0.95。对于 2、3、4 由



Figure 1. The diagram of wind turbine
图 1. 风力发电机的框图

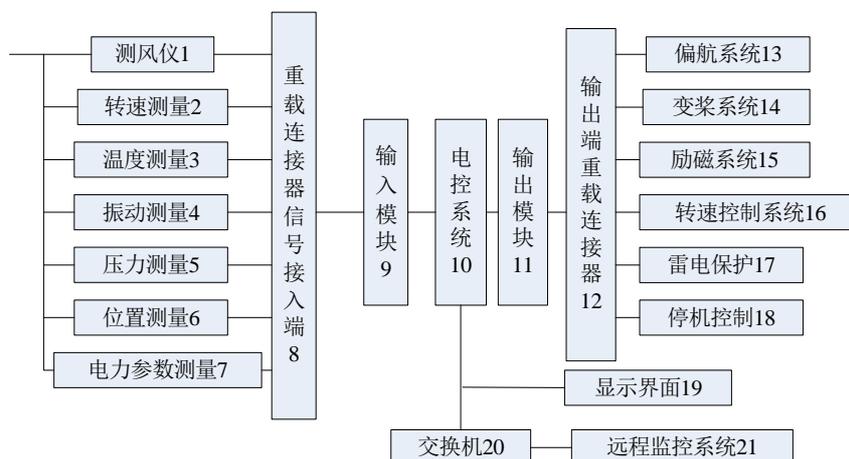


Figure 2. The diagram of control system
图 2. 控制系统的框图

于采用的是多个器件测量，处于风机内部，外界环境没有那么苛刻，分配给 0.96 的可靠度。8、12 是重载连接器，只是信号传输的中介，实际应用中可靠度比较高 0.96。9、11 的西门子模块，是为专门的工业环境设计的，分配给比较高的可靠度 0.99，电控系统中采用冗余系统设计，可靠度分配为 0.98。根据系统对于电控系统来说，13~18 对于整个电控系统来说，是系统的核心，分配给 0.98 的高可靠度。19 的显示界面处于机舱中，环境存在很大的振动，但是其只是用于监视风机状态，重要度次于偏航等系统，分配给 0.96 的可靠度，远程监控传输的距离比较远，通信线所处的环境难于估计，分配的可靠度次于显示系统为 0.95。对于电控系统来说，21 个部件属于串联系统，计算其可靠度为 0.485。通过分析计算，可见其可靠度是很低的。所以在整个电控系统的设计中，应该对于测量装置在考虑成本等问题的同时，设法设置多个测量点，保证传输数据的准确性，也就是增加了并联回路。设计的过程中需要重点保证变桨、偏航等系统，还有处理器的冗余设计、硬件的富裕设计等等，以此来提高系统的可靠性^[5]。

4. 故障分析及故障检修技术

按照故障不同，将风力发电机组系统故障按照故障类型进行分类，为故障处理提供依据，同时应用故障树对风机系统进行故障分析。其中故障树的概念为在系统设计过程中通过对可能造成系统失效的各种因素(包括硬件、软件、环境、人为因素)进行分析，

画出逻辑框图(即失效树)，从而确定系统失效原因的各种可能组合方式或其发生概率，计算系统失效概率，采取相应的纠正措施，以提高系统可靠性的一种设计分析方法。故障树是一种树状逻辑因果关系图，是用一系列的逻辑门符号来描述系统中各种事件之间的因果关系，是进行系统可靠性预测分析的重要可靠性模型^[6]。

CAFTA 是用于系统可靠性预测分析的软件系统，由 CAFTA、FDA、Safety 三部分构成。CAFTA 是以系统故障树为可靠性分析模型，顺应图形化建模的发展趋势，以蒙特卡罗方法作分析手段，采用了面向对象设计技术思想，将故障树可靠性模型的数据管理、分析运算、运算结果分析以及数据的安全管理等功能都集成在一个图形化的操作平台上。

通过对风力发电机组模拟分析，可以看出底事件的最高故障率可达 20%，最低为 0.2%，其中暴风故障、刹车片 2 磨损、齿轮油污染、刹车片 1 磨损、油位过低、机械设备与环境对于风机控制系统的影响大，出故障的比例相对比较高，所以应该及时采取措施对于风速施加到风机的力进行控制，按时更换磨损的刹车片，污染的齿轮油要及时除污，这样可以提高风机的正常运行时间。轴承温度过高、测量装置失效、刹车控制失效、发电机加热、电瓶故障、水压过低、刹车机械失效、齿轮油加热故障、充电开关故障、齿轮故障、油润滑电机加热等故障约为 1%，所以需要平时对其进行定期的检测，及时护理，防患于未然。

对于其它故障发生概率比较低的模式，我们的态度也不能掉以轻心，及早预防，以免造成不必要的经

济损失与不必要的麻烦^[7]。对于风力发电机的电控系统来说，模拟结果中模式重要度都为 1，表明无论哪一个部件出现故障，对于风力发电机来说都是很重要的，对于系统都受到影响，应该及时的对系统进行必要的维修，延长使用寿命，提高可靠性^[8]。

失效数据分别用折线、指数分布、正态分布、对数正态分布拟合，拟合图形如下图 3 所示。由失效数据模拟图可以看到风力发电机电控系统的平均无故障时间大约为 14,500 小时，约为 1.6 年，所以应该至少每两年对于风机电控系统进行必要的维护，以延长使用寿命。

5. 可靠性管理

所谓的可靠性管理就是从风力发电机组出发，对风机全寿命周期中的影响可靠性工程技术活动进行的规划、组织、协调、控制与监督环节，目的就是利用最小的资源达到产品计划所要求的定量可靠性^[9]。可靠性管理的主要任务应该是针对系统所出现的故障进行分析与研究。故障分析与纠错维修措施的流程

图如图 4 所示。

6. 总结

通过对风力发电机电控系统机舱柜、机塔柜和轮毂柜故障进行分类，故障按照一般故障与严重故障进行分级处理，对风力发电机组系统可靠性进行评估，通过对电控系统可靠性运用故障树理论进行分析，得出最高故障率可达 20%，最低为 0.2% 的结论^[10]。实际中应及时采取有效针对性强的措施对风机进行日常定检维护与故障处理，可以很大程度上提高风机的正常运行时间。利用故障树分析方法对风力发电机组运行维护给予指导，提高可靠性。对于风场中的每台风力发电机都要进行可靠性管理，记录风力发电机的运转情况及所出现的特殊情况、风机的发电量、故障情况等信息，以便后续的管理与故障的快速排除。必要的情况下，可以准备记录本或者对于各个风机的状况进行备份，以便查阅。当然，还需要对于风电系统的机组进行常规巡查，日常故障进行检查、每年度需要维护、安全等等进行管理。

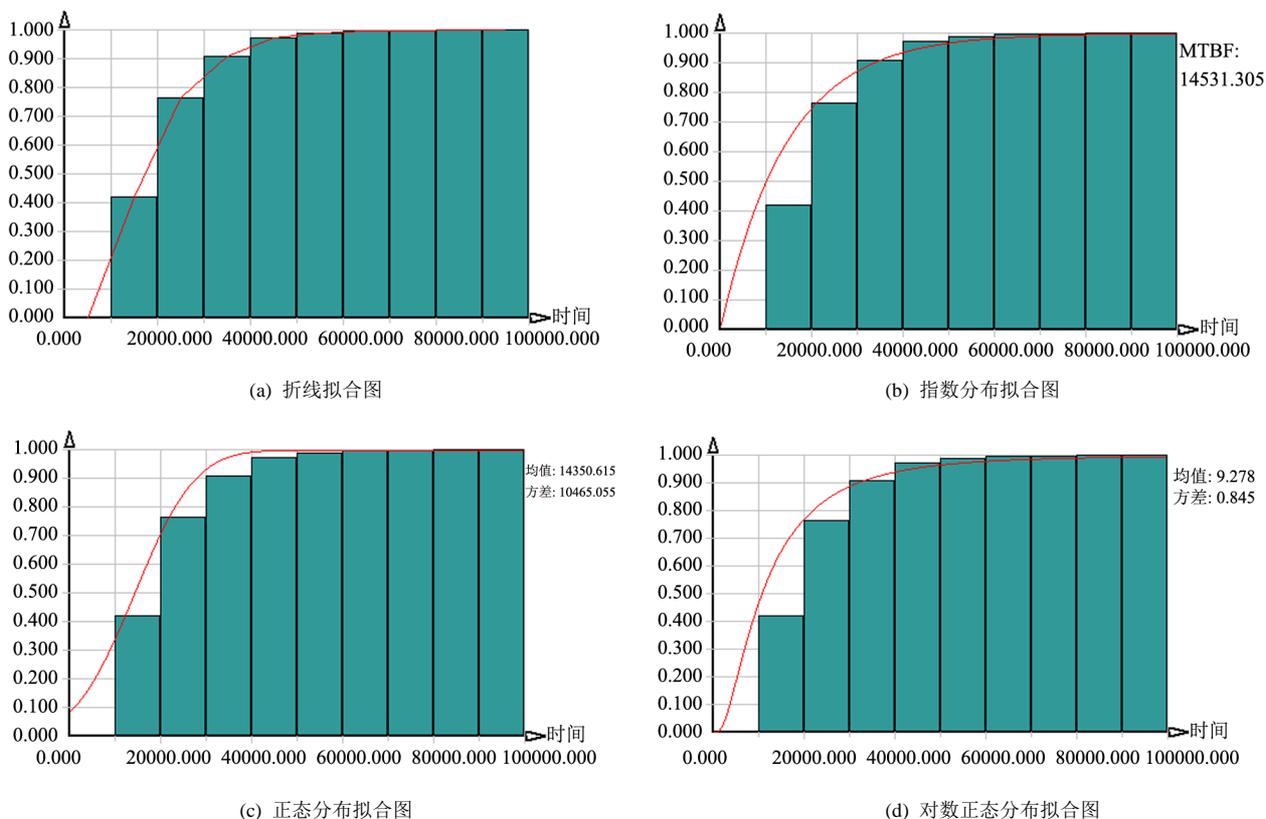


Figure 3. Fitted curve of failure analysis
图 3. 失效数据分析拟合图

风力发电机组可靠性的分析

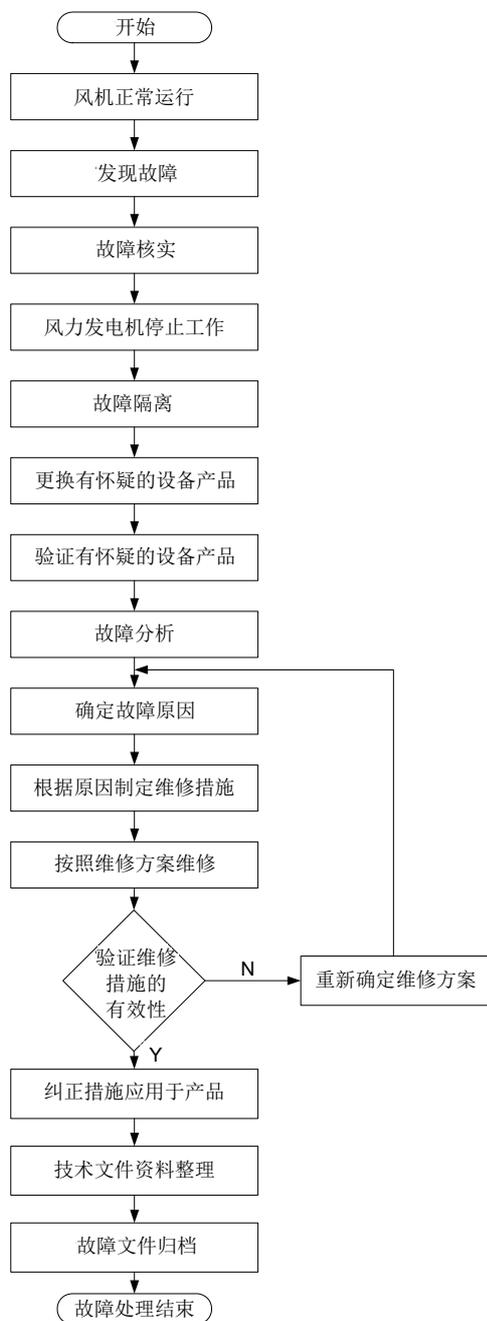


Figure 4. The diagram of failure analysis and maintaining measure
图 4. 故障分析与维修措施的流程框图

参考文献 (References)

- [1] T. Burton 等, 著, 武鑫等, 译. 风能技术[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 97-115, 256, 376.
- [2] 徐平, 李全灿. 电控及自动化设备[M]. 北京: 机械工业出版社, 1997: 44-83, 360.
- [3] 陈明. 控制系统可靠性设计[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2006.
- [4] 李玉亚. 可靠性数学[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990.
- [5] W. J. Graybeal, U. W. Pooch. Simulation: Principles and methods. Cambridge: Winthrop Publishers, Inc., 1980.
- [6] 熊怀欣. 基于失效时间函数的系统可靠性数字模拟算法的研究[J]. 系统工程理论与实践, 2001, 21(8): 58-62.
- [7] 山东长星集团. 风力发电机 F56/850kw 使用手册[URL], 2009.
- [8] 熊礼俭. 风力发电新技术与发电工程设计、运行、维护及标准规范实用手册[M]. 北京: 中国科技文化出版社, 2005.
- [9] 宋晓通. 基于蒙特卡罗方法电力系统可靠性评估[D]. 山东大学, 2008.
- [10] 杨海艳, 孟彦京. 风力发电机电控系统可靠性的研究[D]. 陕西科技大学, 2010.