

并网型风电机组可靠性设计

王立鹏, 刘红文

(南车株洲电力机车研究所有限公司, 湖南 株洲 412001)

摘要: 介绍了并网型风电机组可靠性指标及其评估方法, 及并网型风电机组的运行情况; 根据并网型风电机组可靠性串联模型, 对并网型风电机组进行可靠性设计, 找出其薄弱环节, 提高其可靠性, 达到提高可利用率和年发电量的目的。

关键词: 并网型风电机组; 可靠性; 年发电量; 可利用率

中图分类号: TM614

文献标识码: A

文章编号: 1671-8410(2011)03-0016-04

Reliability Design of Grid-connected Wind Turbine

WANG Li-peng, LIU Hong-wen

(CSR Zhuzhou Institute Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: Reliability index and evaluation of grid-connected wind turbine is introduced, and the operation situation is also described. Reliability design of grid-connected wind turbine is made based on its reliability series model, which can find out the weak link and enhance the reliability to realize increasing the availability and annual power output of wind turbine.

Key words: grid-connected wind turbine; reliability; annual power output; availability

0 引言

风能作为一种绿色能源,已在全世界范围内被广泛利用,最新统计数据显示,截至2010年底,中国全年风力发电新增装机达1600万kW,累计装机容量达到4182.7万kW。据《中国风电发展报告2010》^[1]预测:截至2020年,中国风电累计装机将可达到2.3亿kW。伴随着中国风力发电事业的快速发展,尤其是海上风电的发展,并网型风电机组的可靠性越来越受到重视。然而并网型风电机组的可靠性取决于设计、生产和管理,因此必须从可靠性工程的角度出发,将可靠性学科的理论与方法运用到并网型风电机组的研发、样机调试、批量组装和运行维护中,以此保证并网型风电机组的可靠性^[2]。并网型风电机组的设计寿命为20年,年可利用率为

为97%以上,因此在研发阶段,增强并网型风电机组可靠性,可以减小故障率,提高可利用率和年发电量。进一步说,并网型风电机组的可靠性高低,决定了风电场运营商的盈利能力,更决定了风电设备制造商的生存、盈利与发展能力。本文先简单介绍并网型风电机组可靠性指标与评价体系,接着描述了现有并网型风电机组故障情况及其停机时间,最后叙述了其可靠性的设计。

1 并网型风电机组的可靠性指标及其评估方法

并网型风电机组可靠性设计是指将可靠性学科的先进理论和方法应用于风电行业,对机组的性能、可靠性、维修性、保障性、经济性等各方面因素进行综合平衡,旨在提高并网型风电机组的可利用率和年发电量^[2]。并网型风电机组的可靠性工程重点在设计阶段,一旦完成设计,其固有可靠性便已确定。在进行可靠性设计时,首先必须明确并网型风电机组可靠性指标及其评

收稿日期: 2011-03-05

作者简介: 王立鹏(1973-),男,高级工程师,主要从事大型风力发电机组系统技术的研究。

估方法。

1.1 并网型风电机组可靠性指标

并网型风电机组属于大型化、长寿命产品,由叶片、轮毂、主轴、齿轮箱(直驱式没有齿轮箱)发电机、液压系统、冷却系统、制动系统、偏航系统、电控系统、安全系统、变流器、通信系统、塔筒以及辅助系统(机舱、塔筒内的配电系统等)组成。根据 IEC61400-1《风电机组设计要求》和 GL 风力发电机组认证规范,并网型风电机组的部分子系统与整机的运行寿命周期一样,设计寿命为 20 年,如主机架、塔筒、导流罩、轮毂等。该类由大型关键零部件组成的系统一般不允许出现故障,属于不可修复系统。对于整机的其他系统,如电控系统、偏航系统、液压系统和制动系统中的元器件等,考虑到经济的合理性和技术的可行性,设计寿命一般不需要保证为 20 年。该类子系统允许在风电机组寿命周期内出现故障和更换,属于可修复系统。参照 IEC61400-1《风电机组设计要求》和 GL 风力发电机组认证规范,并网型风电机组的不同组成系统,采用不同的可靠性设计指标^[2]。

(1) 不可修复系统

不可修复系统采用可靠性特征量——可靠度来衡量,可靠度表征风电机组在规定的条件下 20 年内完成规定功能的概率。

(2) 可修复系统

可修复系统采用以下可靠性特征量衡量:可用度;平均故障间隔时间(MTBF);平均维修间隔时间(MTBM)。

采用以上可靠性设计指标时,先确定并网型风电机组各个子系统/零部件的可靠性量化指标,串联后得到并网型风电机组的可靠性(采用可靠性串联模型),计算模型如下:

$$S_s = S_1 \cap S_2 \cap S_3 \cap \dots \cap S_N \quad (1)$$

式中: S_s 与 S_1 、 S_2 、 S_3 ... S_N 分别为系统和各子系统的正常工作状态。

并网型风电机组的可靠度 R_s 为:

$$R_s = r_1 \times r_2 \times r_3 \times \dots \times r_N = \prod_{i=1}^N r_i \quad (2)$$

式中: R_s ——并网型风电机组的可靠度; r_i ——并网型风电机组第 i 个子系统的可靠度。

1.2 评估方法

并网型风电机组的可靠性可用广义可靠性指标——可利用率来评估,可利用率包括可靠性和可维修性,反映了并网型风电机组在寿命周期内的故障情况。可利

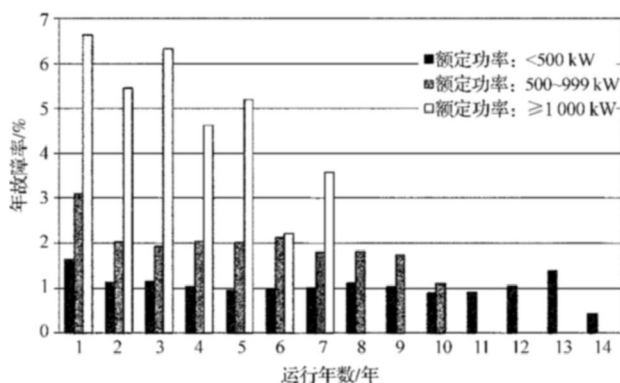
用率高表明并网型风电机组发生故障的概率小或者停机时间少,体现出其高可靠性(对于特定的某台机组,高可靠性意味着提高了该机组的年发电量)。并网型风电机组的可利用率计算方法如下:

$$A = \frac{T_t - (T_{cum} - T_s - T_p - A_{LDT})}{T_t} \quad (3)$$

式中: A ——并网型风电机组可利用率; T_t ——年小时数,为 8 760 h; T_{cum} ——累计停机时间; T_s ——使用人员误操作引起的停机时间; T_p ——计划维修时间; A_{LDT} ——非维修时间。

2 并网型风电机组各子系统故障情况

德国对一个装有 1 500 多台风电机组,装机容量为 25 万 kW 的风电场进行了可靠性统计^[3-4]。该风电场含有单机容量 500 kW 以下、500~999 kW 及兆瓦级以上的风电机组,图 1 为该风电场不同功率等级的并网型风电机组随运行年数增加所发生的故障情况。



(说明:截至故障统计时,兆瓦级风电机组装机运行年数总计才 8 年,因此无 8 年以后的故障数据)

图 1 并网型风电机组年故障率与运行年数的关系^[4]

Fig. 1 Relationship between annual failure rate and operational year of grid-connected wind turbine^[4]

从图 1 可看出,并网型风电机组功率等级越高,故障率越高,可靠性越低。并网型风电机组的故障情况基本符合可靠性浴盆曲线,即在 20 年的寿命周期内,其刚开始运行时故障率比较高,随后进入故障率较低的稳定期,其后随着运行年数的增加又进入故障高发期。

图 2 列出了并网型风电机组各个零部件出现故障所占的比例。从图 2 可看出,并网型风电机组出现故障最多的零部件在电气系统中、主要包括组成并网型风电机组发电、辅助配电的电气元件及其线路连接,如继电器、各种开关设备等,为 23%;其次是控制系统(主要是指并网型风电机组的主控以及监督控制部分),为 18%;接下来分别为传感器、液压系统、叶片、机械制动等。

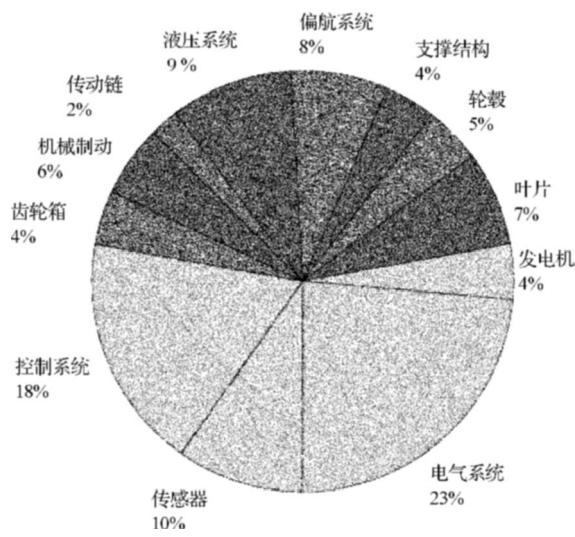


图2 并网型风电机组各零部件故障分布情况^[4]
Fig.2 Failures distribution of each compoent for grid-connected wind turbine^[4]

图3为并网型风电机组各零部件发生故障时引起的停机情况。由图可看出，齿轮箱、发电机、传动链和叶片等大型机械部件的故障，由于受维修性的影响，造成停机时间较长。电气系统、液压系统、控制系统等的故障频率较高，但由于其易于维修与更换，停机时间并不长。

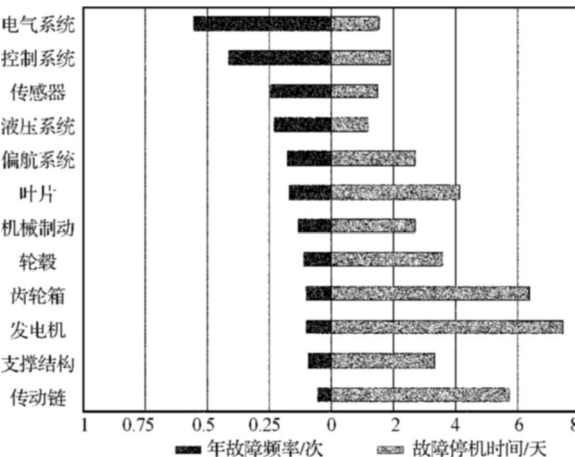


图3 并网型风电机组各零部件故障造成的停机时间^[4]
Fig.3 Downtime of failure for each component of grid-connected wind turbine^[4]

3 并网型风电机组可靠性设计

从实际运行情况可知，并网型风电机组的各个零部件均有可能出现故障，且不同故障模式所引起风机停机的时间不一样，最终损失的年发电量也不同。根据可靠性理论，将其分解成不同功能的子系统和零部件，对每个环节进行可靠性设计，可以找出其安全隐患及薄弱环节，进而提高整机的可靠性。并网型风电机组可靠性设计的流程如4所示^[2]。

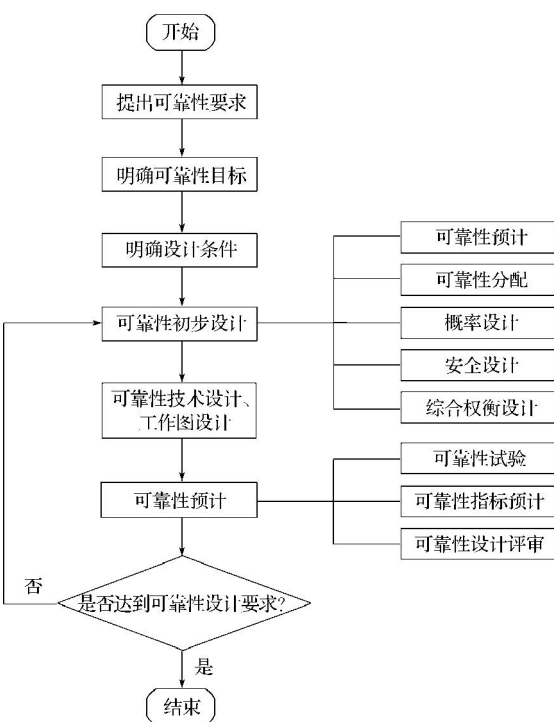


图4 并网型风电机组可靠性设计流程
Fig.4 Design flow of reliability for grid-connected wind turbine

由图4可知，对并网型风电机组进行可靠性设计时，首先需确定可靠性要求，以此提出可靠性设计的目标和条件，然后采用可靠性设计技术，对风电机组进行可靠性建模和分析、可靠性预计、可靠性试验等，不断完善和提高风电机组的可靠性，最终达到可靠性设计时的目标，满足客户和市场需要。该设计流程概括起来包含以下4个方面的内容^[2]。

3.1 可靠性设计准则、要求及工作内容

现有并网型风电机组在设计时均参考IEC、GL等风电机组设计规范，这些规范对风电机组设计的基本要求、外部条件、设计等级、机械系统、电气系统、控制和保护系统、组装、运行与维护作了详细的规定。可靠性设计可以紧紧围绕这些内容进行设计，使并网型风电机组各零部件、子系统、整机系统符合设计标准。但这些设计标准均参考欧洲的风资源和环境，因此在进行可靠性设计时还需考虑到中国的风资源和地质条件与外国之间的差异，如我国研制的高海拔型风电机组、抗台风型风电机组便充分体现了这一差异。

3.2 可靠性模型与可靠性指标的预计和分配

并网型风电机组是一个涉及空气动力学、机械、电气、控制、系统工程学知识的复杂系统，包括风轮、传动系统、发电机系统、液压系统、偏航系统、控制系统、机舱塔架、辅助配电系统等。严格地讲，并网型风电机组属于混联系统，为便于对其进行可靠性建模，简化为串联系统(图5)^[5-6]，从而可利用式(2)对并网型风电

组进行可靠性计算。

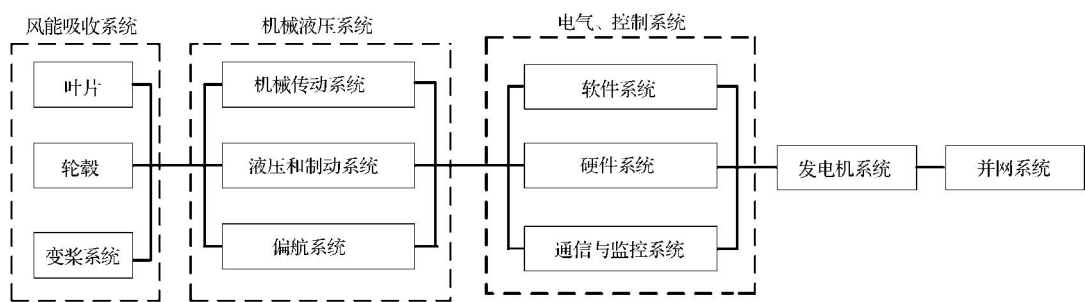


图 5 并网型风电机组可靠性串联模型

Fig.5 Reliabilityseriesmodelofgrid-connectedwind turbine

3.3 可靠性分析

第3.2节建立了可靠性模型 ,根据已有的故障数据 ,对并网型风电机组进行故障模式分析、故障树分析等 ,找出其薄弱环节和安全隐患。

3.4 整机与子系统可靠性设计

根据可靠性设计衡量指标 ,对不同的子系统采取不同的设计手段。对必须满足运行 20 年长寿命的大型机械部件(不可修复系统)的设计 ,必须考虑风电场的风资源情况 ,采用专用软件 ,如用GH bladed软件进行整机的载荷计算 ,用ANSYS软件进行结构强度校核 ,达到标准所需要的安全裕度 ,以此提高该系统的可靠度 ;可修复系统 ,如电控系统 ,由于它是保证风电机组安全、有效运行的核心组成部分 ,需要进行冗余设计、降额设计、电磁兼容设计、温度控制设计 ,以此提高该系统的可用度。需要说明的是 :在进行整机和子系统可靠性设计时 ,针对不同安装位置的并网型风电机组 ,需要根据当地风场的风资源状况和气候情况 ,对其进行耐环境设计。如对海上风电机组进行防盐雾、防潮湿、防霉菌设计 ;对高海拔风电机组进行防潮湿、防雷电设

计 ;对低温型风电机组进行防低温设计等。

4 结语

本文分析了并网型风电机组可靠性指标和评价方法 ,并对已运行的风电场安装的并网型风电机组故障情况进行了分析 ,最后对其可靠性设计方法和内容进行描述 ,通过提高并网型风电机组可靠性 ,达到提高其可利用率和年发电量的目的。

参考文献 :

[1] 李俊峰 ,施鹏飞 ,高虎 . 中国风电发展报告 2010 [M] . 海口 :海南出版社 ,2010 .
[2] 吴佳梁 ,王广良 ,魏振山 . 风力机可靠性工程 [M] . 北京 :化学工业出版社 ,2011 .
[3] Johan R . Reliability performance and maintenance:A survey of failures in wind power systems[D] . Stockholm :KTH School of Electrical Engineering 2006 .
[4] Roger H . Wind turbine reliability[R] . Albuquerque:Wind Turbine Reliability Workshop 2006 .
[5] 王可 ,刘士阁 ,王书芳 . 兆瓦风力发电机系统可靠性设计理论研究[J] . 节能 ,2005(11):21-24 .
[6] 谢开炎 . 大中型风力发电机组可靠性研究 [J] . 太阳能学报 ,2002 ,23(1):80-82 .

.....

WT1500 型高海拔型风机首次挺进大西南

2011年4月 ,华能乌江源风电项目开工庆典在贵州省威宁自治县隆重举行。该项目是目前贵州省规划装机规模最大的风电项目 ,也是贵州省“十二五”开局之年的重点工业工程 ,规划容量为30万kW ,将按6个风电场分2期开发建设。该项目中2个风场的风力发电机组将全部采用南车株洲电力机车研究所有限公司自主研发生产的WT1500型高海拔型风机 ,并将在年内并网发电。

WT1500型风机是专门针对高海拔环境而设计的 ,适合于像贵州省乌江源地区这样空气密度低、雷电效应大、日照和辐射强、静电效应高、湿度大且温差大的高原环境下运行。该风机一经面世 ,即获得市场青睐 ,仅2010年就获得近20亿元金额的订单合同。