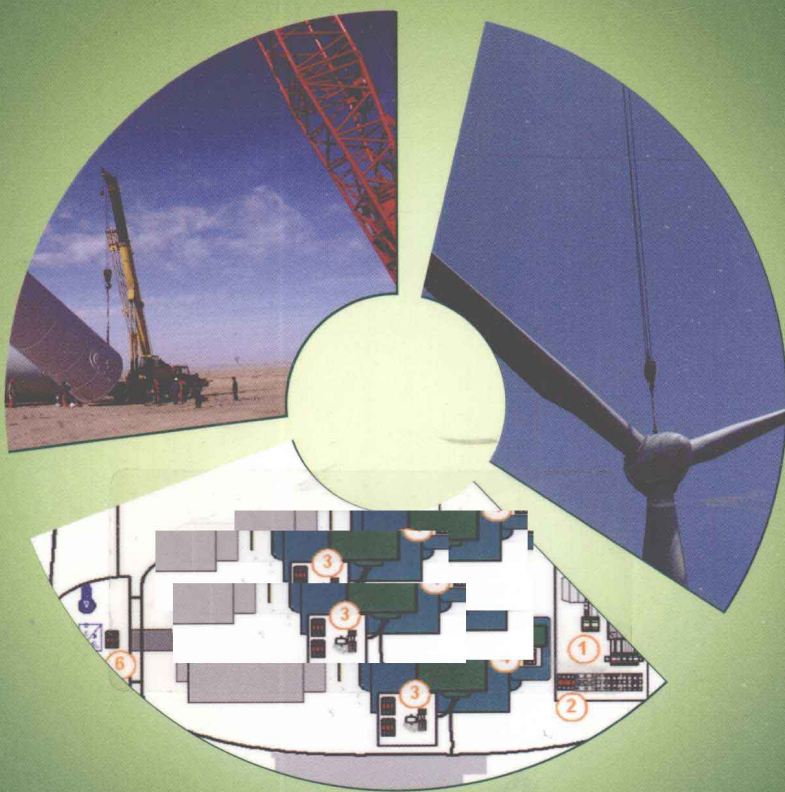




>>>>>>>>>>> FENGLIJI
KEKAOXING GONGCHENG

风力机 可靠性工程

吴佳梁 王广良 魏振山 等编著



化学工业出版社



>>>>>>>>>>> FENGLIJI
KEKAOXING GONGCHENG

风力机

可靠性工程

吴佳梁 王广良 魏振山 等编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书针对风力机产品寿命周期的各环节,系统地论述了风力机可靠性工程的基本理论和基本方法。包括风力机产品及可靠性理论;风力机总体及其子系统可靠性设计的内容、方法及示例;分析了风力机的故障,论述了风力机的维修保障性工程,风力机的可靠性试验、可靠性评估以及可靠性管理。

本书可供从事风力发电机组设计、生产制造、运行维护以及相关管理工作的专业技术人员参考,也可作为高等院校相关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

风力机可靠性工程/吴佳梁,王广良,魏振山等
编著. —北京:化学工业出版社,2010.12
(风力发电技术丛书)
ISBN 978-7-122-09734-7

I. 风… II. ①吴…②王…③魏… III. 风力发电-可靠性工程 IV. TM315

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第204154号

责任编辑:郑宇印

装帧设计:韩飞

责任校对:周梦华

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:大厂聚鑫印刷有限责任公司

710mm×1000mm 1/16 印张22 字数463千字 2011年3月北京第1版第1次印刷

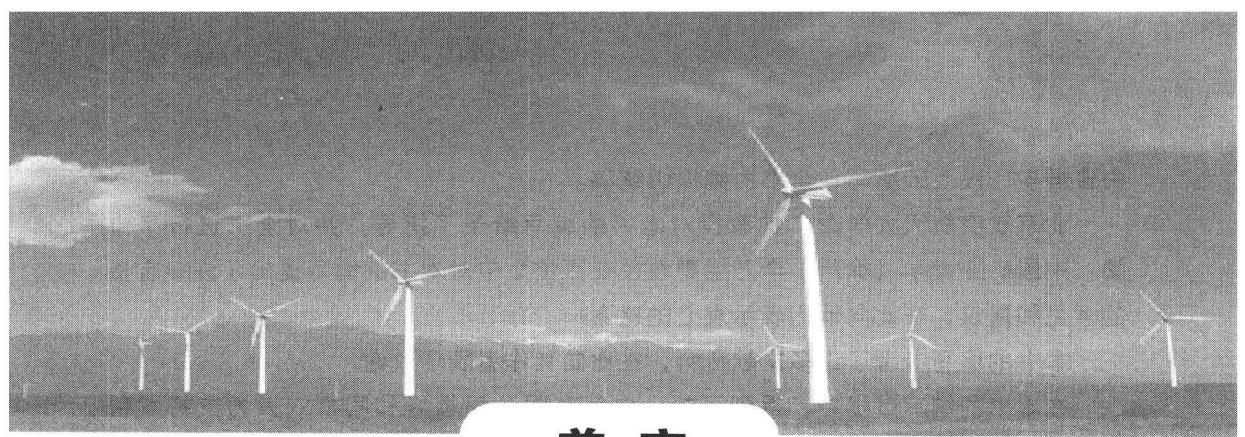
购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

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:68.00元

版权所有 违者必究



前 言

随着风电产业的迅猛发展，风力机的可靠性成为风电行业面临的关键课题之一。国家标准中规定，并网型风力机的设计寿命为 20 年，年可利用率为 97%，要实现这样的可靠性指标，必须对风力机全生命周期的各个环节实施可靠性工程。

可靠性是设计出来的、生产制造出来的、管理出来的，因此必须从可靠性工程的角度，将可靠性学科的先进理论和方法贯穿运用到风力机从研发、试验、生产制造、运输吊装到使用维护等全寿命周期的各个环节中去，切实保证产品的可靠性。

本书依据上述思想，针对风力机产品寿命周期的各环节，系统地论述了风力机可靠性工程的基本理论和基本方法，并给出了一些示例。可靠性工程所涉及的内容繁多，本书仅对风力机相关的主要内容进行了介绍。本书内容具体包括可靠性工程以及风力机产品实施可靠性工程的必要性；可靠性学科的基础知识以及风力发电相关的基础知识；风力机产品可靠性设计的基本内容与方法；结构可靠性设计的基本理论和方法；风力机电控系统的构成及其可靠性要求；结合风力机的生存环境，论述了三防设计、耐热设计与低温防护设计、防雷设计以及抗冲击振动设计的内容与方法；对风力机的各类故障进行了介绍，并运用故障分析技术（FMECA 和 FTA）对某型号风力机的故障进行了初步的分析；风力机的维修性设计及维修保障性，风力发电机组机械系统和电气系统的故障诊断技术，风力机的通用维修策略和维修规程；可靠性试验与可靠性评估；可靠性管理的基本内容。对可靠性大纲的编制、可靠性管理的组织结构、风力机产品可靠性的过程控制与管理、可靠性数据及知识管理等内容进行了具体的论述。

本书编写的具体分工为：第 1 章和第 10 章由吴佳梁、王凤云、杨必胜编写；第 2 章由王浩杰、杨必胜、许云龙编写；第 3、第 4、第 6 章和第 8 章由魏振山、陈智巧、魏浩、韩雪编写；第 5 章和第 7 章由王广良、丁涛、杜泽龙编写；第 9 章

由曹恒亭、段兰云编写；全书由魏振山统稿。

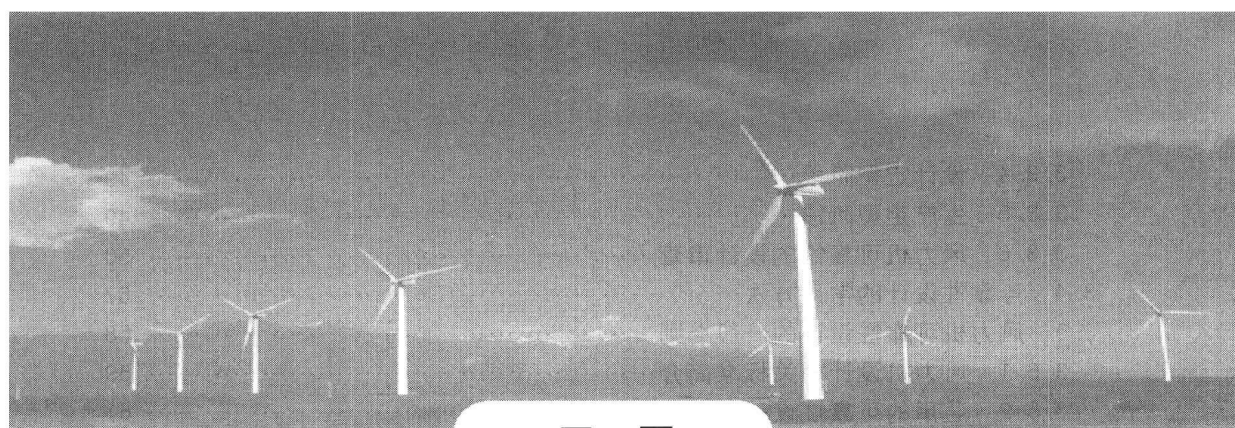
北京航空航天大学白广忱教授对本书的编写给予了指导，并对全书进行了审阅；中国矿业大学（徐州）李乃梁副教授在百忙之中对本书的编写提出了许多宝贵的意见和建议，在此向他们表示衷心的感谢！

本书的编写参考了许多文献资料，在此向其作者表示致谢！

在本书的编写过程中，得到了三一电气有限公司领导和同事的大力支持和帮助，在此表示感谢！

由于时间和水平所限，本书不当之处在所难免，欢迎读者批评指正。

编 者
2010 年 10 月



目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 可靠性与可靠性工程简介	1
1.3 可靠性工程的基本内容及相互关系	3
1.3.1 可靠性设计	3
1.3.2 可靠性试验与可靠性评估	4
1.3.3 可靠性控制与可靠性管理	4
1.4 风力发电机组可靠性工程	4
第 2 章 风力机可靠性工程基础知识	6
2.1 基本概念	6
2.1.1 可靠性的定义	6
2.1.2 可靠性的特征量	8
2.1.3 产品的广义可靠性指标	11
2.2 可靠性数学知识	14
2.2.1 概率知识	14
2.2.2 数理统计基础	23
2.3 风力发电的理论基础	26
2.3.1 风及其特性	26
2.3.2 风力机的基本工作原理及主要功能参数	32
第 3 章 风力发电机组的可靠性设计	43
3.1 概述	43
3.2 可靠性设计的目的、任务	44
3.3 风力机可靠性设计的主要内容	45
3.3.1 技术指标论证阶段	46
3.3.2 方案论证及确认阶段	47
3.3.3 工程研制阶段	48

3.3.4	设计定型阶段	49
3.3.5	生产定型阶段	49
3.3.6	风力机可靠性的设计审查	50
3.4	可靠性设计的常用方法	57
3.5	风力机可靠性设计的一般准则	58
3.5.1	风力机设计相关标准简介	59
3.5.2	通用的可靠性设计准则	61
3.5.3	风力机总体设计的可靠性准则	62
3.5.4	风力机子系统的可靠性设计准则	63
3.6	风力机可靠性设计的一般要求	69
3.6.1	风力机生命周期内的各种规定条件	69
3.6.2	可靠性的定性要求	70
3.6.3	可靠性的定量要求	71
3.6.4	风力机行业标准及规范中的安全系数	74
3.7	可靠性预计	77
3.7.1	可靠性预计的三个步骤	79
3.7.2	可靠性预计的几种常用方法	79
3.7.3	进行可靠性预计时的注意事项	81
3.8	风力机系统的可靠性建模与分配	81
3.8.1	概述	81
3.8.2	风力机可靠性指标的确定	82
3.8.3	系统可靠性模型与可靠度计算	83
3.8.4	可靠性模型的建立	84
3.8.5	绘制可靠性框图	86
3.8.6	几种典型系统可靠性模型及可靠度计算	87
3.8.7	风力机系统的可靠性分配	90
第4章	风力机结构可靠性设计	98
4.1	结构可靠性设计的基本方法	98
4.1.1	裕度设计	99
4.1.2	常用结构可靠度计算	103
4.1.3	可靠度与安全系数的关系	107
4.2	结构可靠性设计中常用的物理量及影响	111
4.2.1	载荷	112
4.2.2	材料的静强度指标	114
4.2.3	材料的疲劳强度	115
4.2.4	材料的弹性模量	119
4.2.5	几何尺寸	120
4.2.6	系数修正	121

4.2.7	函数均值与方差的近似计算	122
4.2.8	可靠度荐用值	124
4.3	风力机载荷计算	124
4.3.1	概述	124
4.3.2	风力发电机组分级	125
4.3.3	风况	126
4.3.4	其他环境条件	130
4.3.5	载荷工况	131
4.3.6	载荷计算分析	134
4.4	风力机典型零件的可靠性设计	145
4.4.1	主轴的可靠性设计	145
4.4.2	滚动轴承的可靠性设计	150
4.4.3	轮毂的可靠性设计	152
4.4.4	风力机用螺栓的可靠性设计	155
第5章	风力机电控系统可靠性设计	159
5.1	风力机电控系统可靠性概述	159
5.1.1	电控系统可靠性的基本要求	159
5.1.2	电控系统运行的控制要求	159
5.1.3	电控系统安全控制要求	160
5.2	风力机电控系统基本构成	161
5.2.1	风力机电控系统一次回路	161
5.2.2	风力机电控系统二次回路	163
5.3	风力机电控系统软件可靠性	165
5.3.1	概述	165
5.3.2	风力机软件设备巡检设计	165
5.3.3	风力机软件复杂性设计的可靠性	169
5.4	风力机电控系统硬件可靠性设计	174
5.4.1	概述	174
5.4.2	风力机电控系统硬件安全链设计	174
5.4.3	风力机电控系统硬件冗余设计	176
5.4.4	风力机电控系统硬件降额设计	180
5.4.5	风力机电控系统电磁兼容性设计	181
5.4.6	风力机电控系统边缘性能设计	182
5.4.7	风力机电控系统硬件潜在电路	186
5.4.8	风力机电控系统接地保护系统	186
第6章	风力机耐环境设计	195
6.1	耐环境设计	195
6.2	防盐雾、防潮、防霉菌设计	197

6.2.1	防盐雾设计	197
6.2.2	防潮设计	202
6.2.3	防霉菌设计	203
6.3	热设计与低温防护设计	203
6.3.1	热设计	203
6.3.2	温度防护(高温、低温)设计	204
6.4	防雷击设计	205
6.4.1	雷电的破坏形式	206
6.4.2	防雷措施	208
6.5	抗冲击、振动及噪声的设计	210
6.5.1	振动和冲击的影响分析	210
6.5.2	振动与冲击防护措施	211
6.6	抗地震设计	212
第7章	风力机的故障分析	213
7.1	概述	213
7.2	故障的分类及其后果分析	214
7.3	故障模式、影响及其危害性分析(FMEA)	215
7.3.1	FMEA的任务	216
7.3.2	FMEA输入及输出资料	216
7.3.3	FMEA工作表的要求	216
7.3.4	FMEA注意事项	219
7.3.5	风力机主轴系统FMEA示例	220
7.4	故障树分析(FTA)	223
7.4.1	故障树分析法的特点与作用	223
7.4.2	故障树的建立	224
7.4.3	故障树分析	226
第8章	风力机的维修保障性工程	230
8.1	维修性及其分类	230
8.2	维修性设计	232
8.2.1	维修性设计的内容	232
8.2.2	风力机维修性设计的基本准则	232
8.2.3	维修性指标	237
8.2.4	维修性指标论证	238
8.2.5	维修性建模、预计及分配	238
8.2.6	维修性分析与设计权衡	249
8.3	风力机状态监测及故障诊断	250
8.3.1	风力机状态监测与故障诊断概述	250
8.3.2	风力发电机在线监测系统	252

8.3.3 由风力机主控系统实现的在线故障巡检	253
8.4 风力发电机常见电气故障	254
8.4.1 电控系统故障案例	254
8.4.2 变桨系统故障案例	256
8.4.3 变流系统故障案例（主要以 ABB，ACS800 系列变流器为例） ...	257
8.5 风力发电机常见的机械动力学故障	263
8.5.1 转子不平衡故障及其振动特征	263
8.5.2 不对中故障的振动特征	265
8.5.3 转子支承部件松动故障及其振动特征	266
8.5.4 动静件摩擦故障及其振动特征	268
8.6 风力机的维修策略	269
8.6.1 维修策略与 RCM	269
8.6.2 各类预防性维修工作类型的适用性和有效性	271
8.7 风力发电机组维护规程	271
8.7.1 机组常规巡检和故障处理	272
8.7.2 风力发电机组的年度例行维护	274
8.7.3 运行维护记录的填写	277
8.7.4 风力发电机组的非常规维护	278
第9章 可靠性试验和可靠性评估	279
9.1 可靠性试验的分类	279
9.2 试验的综合安排	283
9.3 风力机的出厂试验简介	284
9.3.1 试验项目	284
9.3.2 试验流程图	285
9.3.3 测试与试验的内容	286
9.4 可靠性试验的要素	289
9.4.1 试验条件	289
9.4.2 故障判据	289
9.4.3 试验剖面	290
9.4.4 性能监测点及监测周期	291
9.4.5 可靠性试验示例	291
9.5 可靠性数量指标验证	294
9.5.1 分布参数估计的统计分析法	294
9.5.2 图估法	295
9.5.3 统计分析	296
9.6 系统可靠性评估	297
9.6.1 系统可靠性评定的一般步骤	297
9.6.2 单元产品可靠性评估方法	299

9.6.3 系统可靠性综合评估方法	305
第10章 风力机的可靠性管理	309
10.1 可靠性管理的基本内容与特点	310
10.2 风力机可靠性大纲的编制	311
10.2.1 大纲的主要内容	311
10.2.2 可靠性大纲的主要特点	313
10.2.3 可靠性大纲的监督及控制	314
10.3 可靠性管理组织及可靠性专业人员	315
10.3.1 可靠性管理组织	315
10.3.2 配备可靠性专业人员	317
10.4 可靠性过程管理	317
10.4.1 设计阶段的可靠性管理	318
10.4.2 生产阶段的可靠性管理	319
10.4.3 销售和服务过程的可靠性管理	327
10.4.4 使用阶段的可靠性管理	327
10.4.5 维修过程的可靠性管理	328
10.5 可靠性数据的管理	329
10.5.1 数据收集与分析的目的和任务	329
10.5.2 可靠性数据收集的基本要求和内容	330
10.5.3 可靠性数据的来源	331
10.6 注重知识管理	336
10.6.1 知识管理的重要性	337
10.6.2 知识管理的内容	337
10.7 可靠性教育与培训	338
参考文献	339



第1章 绪论

1.1 概述

随着地球上化石能源的急剧减少和全球环境的日趋恶化，人们对可再生清洁能源的开发利用正在逐步加强。近年来，作为可再生清洁能源的风力发电已成为全球增长速度最快的新能源，但相伴而来的是风力发电机组故障的大量增加，并且，由于风电场向滩涂及海上的扩展，致使风力机的外部环境也发生了较大的变化，新的故障模式也在增加。另一方面，风电场业主对风力发电机组的投资回报期望也在不断提高。所有这些因素都对风力发电机组的可靠性提出了更高的要求。

大型风力发电机组是一个涉及机械、电气、流体、控制、电网并网、计算机、土壤基础及环境等多门工程技术的综合系统。要实现风力发电机组在漫长的 20 年生命周期内安全可靠地运行、年利用率不小于 97% 的指标，就必须通过有效的途径和方法，减少和预防风力发电机组的各种故障，提高其可靠性水平。

1.2 可靠性与可靠性工程简介

可靠性是 20 世纪 40 年代兴起的一门学科。当时科学技术的进步使产品向复杂化发展，特别是第二次世界大战期间，出现了雷达、飞机、导弹等比较复杂的武器系统，但是在当时，作为这些武器系统核心之一的电子系统却经常出现故障。例如，美国空军的电子设备到达远东后有 60% 发生故障，海军舰艇有 70% 的电子设备处于故障状态，丧失了应有的作战能力。这些现象引起了美国和其他国家的注意，并纷纷成立专门机构对产品可靠性进行系统的研究。

据当时的统计，对于电子设备而言，每年的维修费用是设备原价的 0.6~5 倍之多，因此人们希望能通过提高产品本身的可靠性来减少维修费用，所以 20 世纪 50 年代的可靠性研究主要是以解决如何生产出故障少、不易损坏的产品为目标。但是直到 20 世纪 50 年代末，维修费用过高的问题仍然没有得到较好的解决。例如，1959 年美国国防预算的 25% 用于维修开支，但两年中实际花在设备维护上的费用与用于采购的经费几乎是相等的。

1954 年美国国防部成立了电子装置可靠性委员会，开始了系统的可靠性研究。1957 年，该委员会发布了《军用电子设备可靠性报告》，说明了试制、生产时的可

靠性测定方法和考虑可靠性的任务书的制作方法等具体内容。这份报告对可靠性工作起到了指导性作用，并奠定了可靠性学科的初步理论基础，其基本思想和方法到现在仍在使用。

20 世纪 60 年代初，人们开始了对维修性设计和评价方法的研究，随着研究的进展，从 20 世纪 60 年代末开始，可靠性的研究已由以前的如何生产出故障少、不易损坏的产品为目标的狭义可靠性研究，扩展到包括可靠性、维修保障性和可用性的广义范畴的可靠性研究。

除美国外，原苏联和日本也于 20 世纪中叶开始进行可靠性技术的研究与应用；如日本在 20 世纪 60 年代就开始了飞机及高速列车的可靠性研究。1970 年日本宇宙开发事业团下设可靠性安全管理部，对可靠性和质量管理起到了推动作用，在火箭、人造卫星等开发过程中取得了大量可靠性方面的成果，以后又在通信系统、计算机、飞机、汽车等产品中得到了推广应用；许多可靠性技术已经普及到化学制品、医疗器械、建筑等许多领域。

随着各国研究的不断深入，到 20 世纪 70 年代，可靠性技术已经步入成熟阶段；20 世纪 80 年代，可靠性进入深入发展阶段。时至今日，可靠性理论已从当初仅对电子元器件的单项研究，发展到对产品（或系统）及其全生命周期内所有环节的系统性研究，内容涵盖了可靠性、维修保障性、可用性和安全性等各个方面。

我国可靠性工程起步于 20 世纪 60 年代，主要是在航空、航天、电子、机械等领域开展研究工作。进入 20 世纪 80 年代以后，我国的可靠性技术得到了迅速发展，特别是航空航天和武器装备的可靠性管理和研究工作取得了长足的进步。我国已经颁布了一系列可靠性方面的国家标准和国家军用标准，并在大型工程项目中得到了应用，取得了非常显著的效果。

所谓可靠性，是指产品在规定条件下和规定时间内完成规定功能的能力。可靠性的概率度量就是可靠度。通常所说的可靠性是指产品的工作可靠性，工作可靠性包含产品的设计制造和使用维护两个方面，分别用“固有可靠性”和“使用可靠性”来反映。由设计和制造实现和保证的可靠性称为固有可靠性；而在使用过程中因受环境条件、维修方式及人为因素影响所能达到的可靠性称为使用可靠性；工作可靠性可近似地看成两者的乘积。

可靠性技术是为了适应产品的高可靠性要求而发展起来的新兴学科，它研究产品或系统故障发生的原因与机理，提出预防和消除故障的措施。根据可靠性的定义可知，研究产品的可靠性必须基于产品自身的特点、产品特定的功能、结合特定的条件和规定的时间这四个方面，全面系统地开展工作的。

可靠性技术包含可靠性基础理论和可靠性专业技术两个方面。基础理论包括可靠性数学、可靠性物理与可靠性管理；可靠性专业技术包括可靠性设计、可靠性试验与维修性设计等。产品的可靠性研究包括如下内容：可靠性标准体系和规范、可靠性工程、可靠性理论发展与教育等。

在 ISO9000 标准中，可靠性是包含在可信性这一概念之中的。可信性代表了产品的可用性，它包括可靠性、维修性和维修保障性三个相关的因素。从可信性的

角度看，其核心是可靠性工程。

可靠性工程就是以一定的资源条件为约束，以保证和提高产品广义可靠性为目标，在产品全寿命周期过程中，最大限度地纠正与控制各种偶然故障，预防与根除各种必然故障的工程技术。可靠性工程涉及产品寿命周期的全过程，包括设计、试制、试验、生产制造、使用维护等各个环节。产品的可靠性是设计出来的、是生产制造出来的、是使用维护出来的、是管理出来的，可靠性工程正是从这种角度来分析研究和保证产品可靠性的。

1.3 可靠性工程的基本内容及相互关系

可靠性工程包括产品的可靠性设计、可靠性试验、可靠性评估、生产制造过程的可靠性控制、使用维护的可靠性、维修保障性以及可靠性管理等方面。可靠性设计和生产过程决定了产品的固有可靠性，产品的固有可靠性是先天的，具有决定意义；设计水平决定了产品的可靠性水平，产品的设计水平还要依靠生产制造过程予以实现，达到设计所赋予产品的可靠性与维修性水平。可靠性试验是为了验证、提高产品可靠性。可靠性管理能够使产品的固有可靠性得到保障，使产品的总体可靠性得到有效的增长。可靠性工程的根本目标是保证产品的固有可靠性，提高产品的使用维护可靠性。

可靠性工程建立在概率统计理论基础上，是以零件、产品或系统失效规律为基本研究内容的一门应用学科，它的任务是定性或定量地分析、控制、评估和改善产品或系统寿命周期各个阶段的可靠性，保证产品在设计、制造和运行维护的整个过程中满足用户的需求；风力机产品可靠性工程的工作流程如图 1.1 所示。以下对可靠性工程的基本内容做一简单介绍。

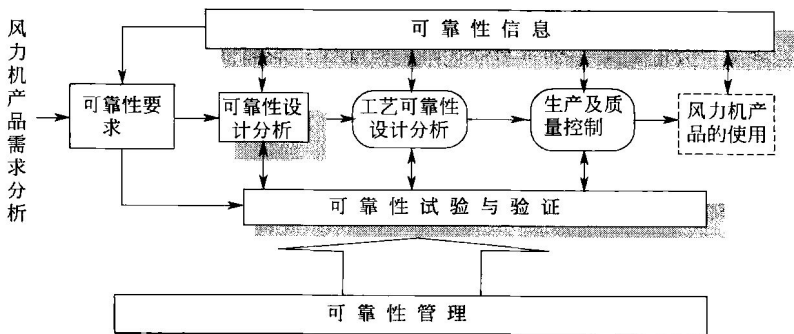


图 1.1 风力机可靠性工程工作流程

1.3.1 可靠性设计

可靠性设计就是通过对产品性能、可靠性、维修保障性、经济性等各方面因素进行综合平衡，运用可靠性设计的方法使产品的设计实现最优化。

可靠性设计与工程设计密不可分，不存在独立于工程设计之外的可靠性设计。

可靠性设计与产品的设计、研制相对应，产品经过设计和研制阶段后，产品的固有可靠性与维修性就确定了。

可靠性设计的内容包括：可靠性分析、可靠性预计、可靠性指标的论证与分配、可靠性设计（包括如基础性设计、预防性设计、裕度设计、边缘性能设计、冗余设计、人机工程设计、维修性设计等；对于战备性的产品，还要特别强调非工作状态下的贮存期控制设计）。

1.3.2 可靠性试验与可靠性评估

可靠性试验是对产品或设计技术的检验，包括维修性试验，主要有如下两种可靠性试验。

(1) 可靠性增长试验 这种试验一方面是发现和暴露问题，依据发现的问题对产品进行改进，使得产品的可靠性得以增长；另一方面是分析产品或系统的潜在能力并进行完善和提高，使产品的可靠性得以增长。

(2) 可靠性验证试验 这种试验一方面是评价可靠性、维修性设计技术的有效性；另一方面是验证可靠性和维修性是否达到了预定的要求。

可靠性评估是指根据产品样本数据对产品的可靠性进行统计推断。可靠性评估前期的基础工作是试验数据（特别是故障数据）的收集、处理、选取。数据甄别的主要内容是数据的一致性检验、异常数据的剔除、分布类型的检验等，通过对这些数据的处理，为可靠性评估提供有效的样本。

1.3.3 可靠性控制与可靠性管理

可靠性管理是对产品全寿命周期各个环节所涉及影响可靠性的各因素进行系统的规划、组织、领导和控制的全部活动；包括对方案论证、工程设计、生产制造、使用运行、维护保障等各个环节相关的人员管理、技术管理、生产管理、维修服务与保障策略等各种工作。通过可靠性管理，保证产品在全寿命周期内完成规定的功能。

1.4 风力发电机组可靠性工程

将风的动能转化为电能的系统就是风力发电机组，也被叫做风力机。风力发电的运行方式主要有两类：一类是独立运行的供电系统（离网型），一般都是利用小型风力发电机组（100W~10kW）给蓄电池充电，再通过逆变器转换成交流电向终端电器供电，也有采用中型发电机组与柴油发电机或太阳能电池组成的混合供电系统，容量约为10~200kW，能够为小社区提供用电；另一类是作为常规电网的电源与电网并联运行（并网型），一般是利用大中型风力发电机组（200kW以上），既可单独并网，也可几十台甚至上千台组成风力发电场并入电网。

风力发电机组的结构形式有多种。按风轮回转轴线的方位分为水平轴式和垂直轴式；其中水平轴式风力机按迎风方式分，有上风式和下风式；按叶片数量分有单

叶片、两叶片、三叶片和多叶片式等。随着风电技术的发展与不断改进,就目前的发展趋势看,风力发电机组的结构形式主要是以水平轴、上风向、三叶片为主,而这其中又有定桨距和变桨距、定转速和变转速、有齿轮箱和无齿轮箱等不同的组合方式。

本书主要以并网型、兆瓦级的变桨距风力发电机组为研究对象;在不引起歧义的情况下,本书也称风力机为风力发电机组或产品。

近二十多年来,风力发电技术得到了快速的发展,风力发电机组利用各种科学技术的最新成果,机组本身的机电一体化水平有了质的提升。风电行业公认的可靠性指标是:并网型风力发电机组各部件的设计寿命应大于 20 年,机组的年利用率应不小于 97%。但是,随着风力发电机组向大容量方向发展以及风力机的外部环境越来越苛刻(如滩涂和海上使用的风力机),使得风力机产品本身的零部件及元器件也越来越多,相关的工程活动规模越来越庞大和复杂,在这种情况下,产品的可靠性问题显得更加重要和突出,实现上述可靠性要求的难度进一步加大。

风力发电机组的可靠性特点是生命周期长、生存环境复杂多变、需要良好的维修保障、涉及的环节非常多,因此,要保证风力发电机组在如此长的寿命周期内安全高效地运行,仅仅依靠制造过程的质量管理和保障是远远不够的,必须针对风力发电机组开展可靠性工程研究工作。同时还要看到,随着风力机产品的复杂化和巨大化以及风电场向更恶劣的环境的拓展,必须预先对这些要求和变化进行研究,否则将会使风力机制造企业的产品在技术上被淘汰,在经济上遭受巨大损失。而对于风电场的业主来说,也只有高可靠性的风力机产品才会有高的利用率,运营维修和保障费用才能降低,风电场才能获得良好的经济效益。

风力发电机组的可靠性工程工作是一项系统工程,要实现在 20 年的漫长生命周期内产品安全可靠运行、年利用率不小于 97% 的指标,必须将可靠性技术与可靠性管理应用于风力发电机组产品的开发研制、设计制造、试验分析、运输和吊装、使用维护等各个环节。这包括可靠性工作的全过程,即从对零件、部件和系统的可靠性数据收集、分析开始,对失效机理进行研究,在此基础上对风力机进行可靠性设计与生产制造,从而保证产品的固有可靠性;采用试验来验证其可靠性;以合理的包装、运输和吊装来保持其可靠性;以合理的使用和维护策略使风力机的可靠性得到保障和增长。

本书将根据风力机产品的可靠性要求和产品特点,运用可靠性技术的基本理论和方法,对风力机全寿命周期的各个环节的可靠性工程技术进行系统的阐述,内容包括风力机总体的可靠性设计、主要子系统的可靠性设计、风力机的可靠性试验与可靠性评估、风力机的维修保障性工程、风力机的可靠性控制与可靠性管理等。



第2章 风力机可靠性工程 基础知识

2.1 基本概念

2.1.1 可靠性的定义

根据中华人民共和国国家标准 GB 3187—82《可靠性基本名词术语及定义》，可靠性及可靠度分别定义如下。

可靠性是指产品在规定条件下和规定时间内，完成规定功能的能力。

从产品是否具有可维修性来看，可靠性又分为狭义可靠性和广义可靠性。狭义可靠性是指不具有维修性的产品的可靠性，反映出产品在某一规定时间内发生失效的难易程度，它不包含维修性。而广义可靠性包含狭义可靠性和维修性，广义可靠性是指产品在其整个寿命周期内完成规定功能的能力。

可靠度是指产品在规定的条件下和规定的时间内，完成规定功能的概率。产品可靠性的概率度量称为可靠度，它是一个统计的概念，是针对一批或多批相同产品而言的。可靠性不能预计一个特定产品能工作多长时间就失效，但可以借助于统计的方法，预计一个产品在规定的时间内正常工作的概率。

产品的概念在 GB 3187—82 中定义为：产品是指作为单独研究和分别试验的对象任何元件、器件、设备或系统，可以表示产品的总体、样品等。其确切含义在使用这一术语时要加以说明。

产品从维修性上可以分为不可修系统与可修系统两大类。所谓不可修系统，是指系统或其组成单元一旦发生失效则不再修复，系统处于报废状态，这样的系统称为不可修系统。不可修是指技术上不能够修复或经济上不值得修复，或者一次性使用因而没有必要进行修复。可修系统是指系统的组成单元发生故障后，经过维修能够使系统恢复到正常工作状态的系统。维修的含义是广泛的，可以是更换，也可以是修理等。

产品丧失规定的功能，对不可修复产品一般称为失效，对可修产品一般称为故障。

在上述可靠性和可靠度的定义中包含四个方面，即产品、规定的条件、规定的时间、规定的功能。