



“十二五”国家重点图书出版规划项目

风力发电工程技术丛书

风电场 施工与安装

FENGDIANCHANG
SHIGONG YU ANZHUANG

赵显忠 郑源 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION



“十二五”国家重点图书出版规划项目

风力发电工程技术丛书

风电场 施工与安装

赵显忠 郑源 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

《风电场施工与安装》是《风力发电工程技术丛书》中唯一介绍工程实践安装技术的分册。本书共分 10 章：第 1 章~第 3 章主要介绍风电场风力发电机组基础的施工技术；第 4 章主要介绍风力发电机组的安装，分为陆上与潮间带两部分；第 5 章~第 8 章主要介绍风电场的电气工程部分，包括电气接电技术、集电线路及光缆线路施工技术、箱式变电站施工技术以及升压站土建施工技术；第 9 章介绍风力发电机组存放、保管与维护保养；第 10 章介绍风电场工程的施工管理。

本书可作为从事风电场设计、施工单位的相关技术和管理人员的培训教材，还可供投资建设开发、设计、施工单位的工程技术人员和管理人员查阅、借鉴，并且可供相关高校能源及电力类相关专业师生学习、参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

风电场施工与安装 / 赵显忠, 郑源主编. -- 北京 :
中国水利水电出版社, 2015. 8
(风力发电工程技术丛书)
ISBN 978-7-5170-3589-3

I. ①风… II. ①赵… ②郑… III. ①风力发电—发
电厂—工程施工 IV. ①TM62

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第208944号

书 名	风力发电工程技术丛书 风电场施工与安装
作 者	赵显忠 郑源 主编
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (发行部) 北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京纪元彩艺印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 16.25 印张 385 千字
版 次	2015 年 8 月第 1 版 2015 年 8 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	58.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究



随着能源危机日益加剧和环境污染日趋严重，研究替代能源、新能源及可再生能源，已成为保障能源供应及国家安全的迫切需要。风力发电以其资源丰富、成本低廉、便于利用，成为目前可再生能源利用中技术最成熟、最具规模开发条件、发展前景较好的发电方式。《风电场施工与安装》是《风力发电工程技术丛书》中介绍工程实践安装技术的分册，也是目前国内少有的全面介绍风电场施工与安装技术的书籍。

本书由中国水利水电第七工程局有限公司、河海大学、华东勘测设计院、上海勘测设计院联合编写，理论结合实际，详细介绍了当前风电场施工与安装的主要技术与方案。

本书共分10章：第1章～第3章主要介绍风电场风力发电机组基础的施工技术；第4章主要介绍风力发电机组的安装，分为陆上与潮间带两部分；第5章～第8章主要介绍风电场的电气工程部分，包括电气接电技术、集电线路及光缆施工技术、箱式变电站施工技术以及升压站土建施工技术；第9章介绍风力发电机组存放、保管与维护保养；第10章介绍风电场工程的施工管理。

本书由赵显忠、郑源任主编，朱富春、黄春芳、刘长辉、江波任副主编。其中第1章和第8章由河海大学郑源编写，第4章、第5章、第7章、第10章由中国水利水电第七工程局有限公司赵显忠、朱富春、陈霖、高建强，三峡集团公司郭岩，河海大学范小娟、朱飞、付士凤编写，第2章由上海勘测设计院江波编写，第3章、第6章由华东勘测设计院黄春林编写，第9章由河海大学刘长辉编写。全书由郑源与朱富春负责统稿。

本书在编写过程中得到《风力发电工程技术丛书》编委会的大力支持与

中国水利水电出版社李莉老师和王梅老师的热心指导，同时参阅了大量优秀风电企业的技术资料，编者在这里衷心的感谢。本书的部分成果为江苏高校首批“2011计划”（沼海开发与保护协同创新中心，苏政办发〔2013〕56号）。

由于是首次系统性介绍风电场施工与安装的图书，再加之编者的水平有限，尽管付出了很大的努力，但是疏漏与不尽人意之处在所难免，恳请读者给予批评指正。

编者

2015年5月

《风力发电工程技术丛书》

编 委 会

顾 问 陆佑楣 张基尧 李菊根 晏志勇 周厚贵 施鹏飞

主 任 徐 辉 毕亚雄

副 主 任 汤鑫华 陈星莺 李 靖 陆忠民 吴关叶 李富红

委 员 (按姓氏笔画排序)

马宏忠 王丰绪 王永虎 尹廷伟 申宽育 冯树荣

刘 丰 刘 玮 刘志明 刘作辉 齐志诚 孙 强

孙志禹 李 炜 李 莉 李同春 李承志 李健英

李睿元 杨建设 吴敬凯 张云杰 张燎军 陈 刚

陈党慧 陈 澜 林毅峰 易跃春 周建平 郑 源

赵生校 赵显忠 胡立伟 胡昌支 俞华锋 施 蓓

洪树蒙 祝立群 袁 越 黄春芳 崔新维 彭丹霖

董德兰 游赞培 蔡 新 糜又晚

丛书主编 郑 源 张燎军

主要参编单位 (排名不分先后)

河海大学

中国长江三峡集团公司

中国水利水电出版社

水资源高效利用与工程安全国家工程研究中心

华北电力大学

水电水利规划设计总院

水利部水利水电规划设计总院

中国能源建设集团有限公司

上海勘测设计研究院

中国水电顾问集团华东勘测设计研究院有限公司

中国水电顾问集团西北勘测设计研究院有限公司

中国水电顾问集团中南勘测设计研究院有限公司

中国水电顾问集团北京勘测设计研究院有限公司

中国水电顾问集团昆明勘测设计研究院有限公司

长江勘测规划设计研究院

中水珠江规划勘测设计有限公司

内蒙古电力勘测设计院

新疆金风科技股份有限公司

华锐风电科技股份有限公司

中国水利水电第七工程局有限公司

中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司

中国能源建设集团安徽省电力设计院有限公司

丛书总策划 李 莉

编委会办公室

主 任 胡昌支

副 主 任 王春学 李 莉

成 员 殷海军 丁 琪 高丽霄 王 梅 单 芳

白 杨 汤何美子

本书编委会

主 编 赵显忠 郑 源

副主编 朱富春 黄春芳

刘长辉 江 波

参 编 郭 岩 吴春旺

范小娟 朱 飞

陈 霖 高建强

付士凤



前言

第 1 章 风电场内的前期基础工程	1
1.1 风电场道路及场平工程施工方案	1
1.1.1 道路施工方案设计	1
1.1.2 施工方法及程序	4
1.1.3 质量保证措施	10
1.2 土石方开挖与填筑工程	11
1.2.1 土石方开挖工程	11
1.2.2 土石方填筑工程	13
1.3 混凝土工程	13
1.3.1 混凝土浇筑施工方法及程序	14
1.3.2 大体积混凝土及夏季高温施工方案	18
1.3.3 混凝土施工质量保证措施	19
第 2 章 陆上风电场风力发电机组基础施工技术	21
2.1 灌注桩基础施工	21
2.1.1 概述	21
2.1.2 泥浆护壁钻孔灌注桩	24
2.1.3 其他灌注桩	40
2.2 打入桩基础施工	42
2.2.1 概述	42
2.2.2 先张法预应力混凝土管桩 (PHC 管桩) 施工	44
2.2.3 钢管桩施工	49
2.3 板筏基础施工	53
2.3.1 概述	53
2.3.2 板筏基础施工	54
2.4 新型基础施工	58

2.4.1	钻孔扩底桩	58
2.4.2	后压浆灌注桩	60
2.4.3	梁板式预应力锚栓基础	62
2.5	基础环安装工程	63
2.5.1	调节螺栓安装方向	63
2.5.2	基础环安装要求	63
2.5.3	基础环止水	63
2.6	基础环水平度偏差产生的原因及处理方法	64
2.6.1	基础环水平度超差的原因分析	64
2.6.2	基础环水平度纠偏方法	65
第3章	潮间带风力发电机组基础施工技术	66
3.1	潮间带风电场的施工特点	66
3.2	潮间带风力发电机组基础概况	66
3.2.1	单桩基础	67
3.2.2	导管架基础	67
3.2.3	低桩承台群桩基础	67
3.2.4	高桩承台群桩基础	68
3.3	低桩承台基础施工	69
3.3.1	低桩承台施工方案的特点	69
3.3.2	施工工艺流程	69
3.3.3	PHC 桩的施工	69
3.3.4	现浇混凝土承台施工	71
3.4	导管架基础施工	74
3.4.1	导管架基础施工特点及难点	74
3.4.2	导管架制作	75
3.4.3	钢管桩制作	77
3.4.4	钢管桩沉桩	78
3.4.5	导管架安放	79
3.4.6	桩基与导管架之间的连接	79
3.5	单桩基础施工	79
3.5.1	单桩基础施工特点及难点	79
3.5.2	单桩制作	80
3.5.3	单桩沉桩	80
3.5.4	上部连接段钢套筒的施工安装	81
3.5.5	桩基与连接段钢筒的连接	81
3.6	高桩承台基础施工	81
3.6.1	高桩承台基础施工特点及难点	81

3.6.2	围堰设计与施工	82
3.6.3	沉桩施工	83
3.6.4	承台施工工艺	84
第4章	风力发电机组的安装	85
4.1	风力发电机组的吊装技术	85
4.1.1	吊装设备选择	85
4.1.2	吊装前准备工作	85
4.1.3	塔筒吊装	86
4.1.4	机舱吊装	87
4.1.5	轮毂叶片组对和整体吊装	88
4.2	风力发电机组的吊装实例	90
4.2.1	塔架吊装参数计算	91
4.2.2	机舱吊装	93
4.2.3	轮毂叶片整体吊装	94
4.2.4	吊装基本要求	95
4.2.5	风力发电机组内安装工作安全要求	96
4.3	风力发电机组的安装要求及方法	97
4.3.1	风力发电机组安装要求	97
4.3.2	施工准备	98
4.3.3	风力发电机组安装程序与方法	99
4.4	潮间带风力发电机组的装配和吊装技术	100
4.4.1	塔筒安装	100
4.4.2	机舱吊装	103
4.4.3	发电机吊装	104
4.4.4	叶轮组装	105
4.4.5	主要的施工难度	106
第5章	风电场的电气技术	107
5.1	电气一次部分	107
5.1.1	接入电力系统方式	107
5.1.2	电气主接线	107
5.1.3	升压变电站接线方式及配电设备选择	109
5.1.4	过电压保护及接地	111
5.1.5	接地装置	111
5.2	电气二次部分	112
5.2.1	自动控制	112
5.2.2	风力发电机组及35kV箱式变电站的控制、保护、测量和信号处理	112
5.2.3	主变压器及线路设备的控制、测量	113

5.2.4	继电保护和安全自动装置	114
5.2.5	直流电源	115
5.2.6	远动技术	115
5.2.7	图像监控及防盗报警系统	115
5.2.8	火灾自动探测报警及消防控制系统	116
5.2.9	通信	116
第6章	集电线路及光缆线路施工技术	118
6.1	风电场内集电线路及光缆线路施工技术	118
6.1.1	集电线路及光缆线路输送形式	118
6.1.2	地形及气象条件	118
6.1.3	线路施工特点及工艺流程	119
6.1.4	架空线路的施工	121
6.1.5	地理电缆及光缆的施工	138
6.2	潮间带海底电缆施工技术	148
6.2.1	海底电缆	148
6.2.2	潮间带海域典型特征	150
6.2.3	海底电缆敷设方法	152
6.2.4	潮间带海域电缆敷设分区	152
6.2.5	敷设前的准备	153
6.2.6	220kV 主海缆敷设	153
6.2.7	35kV 海缆敷设	157
6.2.8	海缆敷设完工测试	157
6.2.9	施工案例	157
第7章	箱式变电站基础施工技术	160
7.1	混凝土管桩工程	160
7.1.1	施工措施计划	160
7.1.2	管桩原材料及构造要求	160
7.1.3	管桩制造	161
7.1.4	管桩选型及要求	161
7.1.5	管桩施工技术要求	162
7.2	混凝土工程	163
7.2.1	模板的清洗和涂料	163
7.2.2	钢筋	163
7.2.3	普通混凝土、钢筋混凝土	163
7.2.4	配合比	164
7.2.5	拌和	164
7.2.6	浇筑	165

7.2.7	预留孔混凝土	166
7.3	预埋管和接地网埋设	166
7.3.1	电缆管、光缆管的埋设要求	167
7.3.2	接地网埋设要求	167
第8章	风电场内升压站土建施工技术	168
8.1	施工技术方案	168
8.1.1	升压站土建施工流程	168
8.1.2	工程测量	169
8.1.3	基础工程	170
8.2	脚手架工程	172
8.2.1	工艺流程	173
8.2.2	具体要求	173
8.3	砖砌体工程	174
8.3.1	工艺流程	174
8.3.2	砌筑工艺与具体要求	174
8.4	防水工程	174
8.4.1	准备工作	174
8.4.2	工艺流程	175
8.4.3	施工步骤	175
8.4.4	成品保护及安全	175
8.4.5	验收	176
8.5	楼地面及装饰工程	176
8.5.1	细石混凝土楼地面	176
8.5.2	抹灰工程	177
8.5.3	涂料施工	178
8.6	安装工程	179
8.6.1	薄壁不锈钢管给水工程	179
8.6.2	电气工程	180
8.7	环保措施	182
8.7.1	防止施工噪声污染	182
8.7.2	防止空气污染	182
8.7.3	防止水污染	183
8.7.4	环境保护的检查工作	183
8.7.5	建筑垃圾处理	183
8.8	特殊施工措施	183
8.8.1	防风防雨措施	183
8.8.2	防高温措施	184

第 9 章 风力发电机组存放、保管与维护保养	185
9.1 风力发电机组存放、保管措施	185
9.1.1 前期准备	185
9.1.2 到货设备的验收入库	186
9.1.3 设备的存放	186
9.1.4 设备的保管	187
9.1.5 设备的维护和保养	187
9.1.6 设备的开箱验收	187
9.1.7 设备的出库交接	188
9.1.8 现场到货设备的开箱验收及库存交接	188
9.1.9 备品备件和专用工具管理	189
9.1.10 建立计算机管理和书面资料相结合的管理体系	189
9.1.11 工程设备的安全管理	189
9.2 风力发电机组各部件存储要求	190
9.2.1 存储现场要求	190
9.2.2 各部件存储要求	190
第 10 章 风电场的施工管理	192
10.1 施工进度控制	192
10.1.1 施工进度计划的控制方法	192
10.1.2 进度计划实施中的调整方法	195
10.2 费用控制	197
10.2.1 投资控制	198
10.2.2 施工成本控制的基础工作	202
10.2.3 编制成本计划	203
10.2.4 施工成本因素分析	204
10.2.5 工程成本综合分析	205
10.2.6 施工成本偏差分析方法	205
10.2.7 施工成本控制的程序	206
10.3 施工质量控制	207
10.3.1 施工质量控制的任务	207
10.3.2 质量控制的基本方法	209
10.3.3 质量事故的原因分析	214
10.3.4 质量事故的处理	215
10.4 施工安全管理	217
10.4.1 安全管理的内容	217
10.4.2 安全生产责任制	217
10.4.3 安全生产检查	219

10.4.4 安全生产教育	220
10.5 工程招投标与合同管理	221
10.5.1 施工招标	221
10.5.2 施工投标	225
10.5.3 施工合同	226
10.5.4 施工合同的履行和管理	228
10.5.5 施工索赔管理	230
附录 安全手册	232
参考文献	241

第 1 章 风电场内的前期基础工程

本章介绍风电场内的前期基础工程，包括了道路及场平工程、土石方开挖与填筑工程和混凝土工程。道路及场平工程需要认真考察并分析当地的实际情况（包括现有道路、气象条件、地质和水文条件等）之后做出最合理的规划；土石方开挖则需要根据风力发电机组的安装顺序，合理安排场内交通与空间；混凝土工程要保证质量，充分考虑不同季节与时间下温度的变化。这些前期基础工程的好坏，直接影响到后续工程的开展。

1.1 风电场道路及场平工程施工方案

道路及场平工程施工方案，主要根据已有道路布置和安装平台布置等确定工程场内道路路线的起终点，以及需要新建场内干支线道路条数与长度；之后进行工程量统计，主要包括风力发电机组安装平台数量，路基工程长度和山皮石面层体积。

本节介绍道路及场平工程的施工方案并结合某约 50MW 的风电项目进行介绍。该风电场位于荒漠草原上，占地面积约为 12km^2 。场址地貌属于低山丘陵，地形起伏较大，地面标高范围在 $1830.00\sim 1980.00\text{m}$ ，最大高差为 150m 。共计安装风力发电机组平台 33 个，路基工程总长 25.34km ，山皮石面层 114030m^2 。

1.1.1 道路施工方案设计

1.1.1.1 主要设计参数

- (1) 路基、路面宽度。路基设计宽度为 5.0m ，路面设计宽度为 4.5m 。
- (2) 平面圆曲线。平面圆曲线最小半径一般为 50m 。
- (3) 纵坡。最大设计纵坡为 12.5% 。

1.1.1.2 线形设计

1. 选线

- (1) 保证选线的合理性。
- (2) 尽量减少高填深挖降低工程造价。
- (3) 便于施工，有利于保证工程质量，减少对环境的破坏和污染。
- (4) 使用的适用性、安全性、可靠性以及寿命等方面考虑尽量不采用极限曲线半径和极限纵坡。

2. 平面线形设计

- (1) 平面圆曲线。由于地形条件的限制和考虑大型设备运输的需要，平面圆曲线最小半径一般为 50m 。在平面圆曲线设计中，尽量采用大于或等于一般最小半径值，以提高道路的使用质量和舒适性。



平面单圆曲线设计公式为

$$T = \frac{R \tan \alpha}{2} \quad (1-1)$$

$$L = \frac{\pi}{180} \alpha R = 0.01745 \alpha R \quad (1-2)$$

$$E = R \left(\frac{\sec \alpha}{2} - 1 \right) \quad (1-3)$$

$$J = 2T - L \quad (1-4)$$

式中 T ——切线长, m;

R ——曲线半径, m;

L ——平曲线长, m;

α ——路线转角;

E ——外距, m;

J ——校正数, m。

(2) 缓和曲线。缓和曲线是在直线和圆曲线或不同半径圆曲线之间设置的曲率连续变化的曲线。其作用是为了缓和线形、缓和行车以及缓和超高和加宽。

3. 纵断面线形设计

(1) 纵坡。施工便道最大纵坡为 12.5%。

(2) 竖曲线。竖曲线计算公式为

$$\omega = i_2 - i_1 \quad (1-5)$$

$$L = R\omega \quad (1-6)$$

$$T = L/2 \quad (1-7)$$

$$E = T^2/2R \quad (1-8)$$

式中 ω ——竖曲线, 当 $\omega < 0$, 为凸曲线; 当 $\omega > 0$, 为凹曲线; $\omega = 0$, 为直线;

R ——竖曲线半径, m;

T ——切线长, m;

L ——竖曲线长度, m;

E ——竖曲线变坡处纵距, m。

4. 横断面设计

(1) 横断面。施工便道路基设计宽度为 5m, 路面设计宽度为 4.5m; 土路肩宽度为 2×0.5 m。路拱横坡为 2.0%, 硬路肩坡度为 3.0%。

(2) 超高。超高是为了抵消车辆在曲线上行驶时所产生的离心力, 在该路段横断面上设置的外侧高于内侧的单向横坡。超高值按照《公路路线设计规范》(JTGD 20—2006) 采用, 超高采用中轴旋转超高, 计算公式见表 1-1。

表 1-1 中轴旋转超高计算公式

超高部位		$x \leq x_0$	$x \geq x_0$
最大值	外侧 h_c	$a(i_j - i_g) + (a + b/2)(i_g + i_c)$	
	中心 h'_c	$ai_j + b/2i_g$	
	内侧 h''_c	$ai_j + b/2i_g - (a + b/2 + B_j)i_c$	