

风电场电气二次系统 运行与维护

范相林 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

第 1 版 (2011 年 1 月)

风电场电气二次系统 运行与维护

范相林 编著

常州大学图书馆
藏书章



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书针对风电场升压站主要继电保护和自动装置的二次回路接线,结合生产实践,以国内主流微机保护厂商设备为例,结合图纸讲解二次回路的工作方式,力求浅显易懂又不失专业性。本书共分十一章,内容包括概述、微机型二次设备的工作方式、电气二次回路、电流互感器、电压互感器、断路器操作、110kV线路保护二次接线、110kV主变压器保护二次接线、常见故障原因分析及处理、二次系统常用仪器仪表。

本书可作为风电场运行维护人员的现场岗位培训教材,还可作为高等院校新能源专业师生及风电场工程技术人员的参考书籍。

图书在版编目(CIP)数据

风电场电气二次系统运行与维护/范相林编著. —北京:中国电力出版社,2017.12
ISBN 978-7-5198-1298-0

I. ①风… II. ①范… III. ①风力发电—电厂—电气系统 IV. ①TM62

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第257420号

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街19号(邮政编码100005)

网 址:<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:安小丹(010-63412367) 盛兆亮

责任校对:王小鹏

装帧设计:赵姗杉

责任印制:蔺义舟

印 刷:三河市百盛印装有限公司

版 次:2017年12月第一版

印 次:2017年12月北京第一次印刷

开 本:710毫米×980毫米 16开本

印 张:13

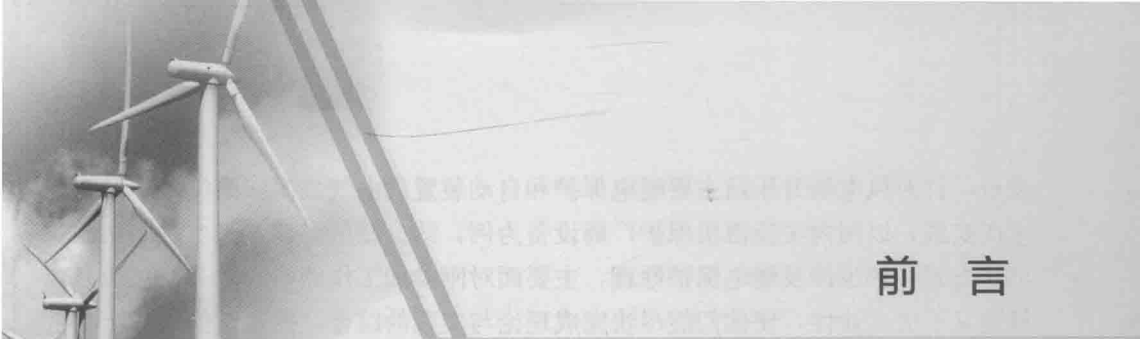
字 数:218千字

印 数:0001—2000册

定 价:35.00元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换



前 言

风电是目前应用规模最大的新能源发电方式，发展风电已成为许多国家推进能源转型的核心内容和应对气候变化的重要途径，也是我国深入推进能源生产和消费革命、促进大气污染防治的重要手段。我国自 2006 年开始大力发展风电，截至 2016 年年底，我国风电装机容量近 1.5 亿 kW，风电总装机容量排名世界第一。根据国家能源局 2016 年 11 月 29 日发布的《风电发展“十三五”规划》，到 2020 年年底，我国风电累计并网装机容量达到 2.1 亿 kW 以上。

风电场升压站作为风电场与电网连接的连接点，在风电场中具有很重要的地位。升压站的电气二次回路往往又被众多的风电运维人员视为“老大难”。尤其是提到继电保护，更让很多人觉得很是“高大上”。继电保护涉及很多复杂的基础知识，如高等数学、编程语言、逻辑计算等，还涉及许多专业基础课程，如电机学、电力系统暂态分析、稳态分析等，这些知识对于普通的电气二次专业从业人员，完全掌握难度很大。编者认为，在微机保护时代，作为风电场升压站电气二次专业一般技术人员不用参与保护装置的研发工作，对于微机保护原理方面大多数人不需要进行太深入的学习，很多知识点，只需简单的了解或者记住结论就可以了。对于继电保护的学习，应尽量抛开继电保护原理，从电路学的角度来看电气二次回路、学习电气二次回路。

目前，针对风电场升压站电气二次系统培训教材极少，而其他电力系统培训教材，关于电气二次接线的内容仍然主要以电磁式继电器回路为讲解示例。在微机保护已经普遍应用的今天，这种模式在很大程度上已经脱离了实际情况，造成了理论与实践的脱节，尤其不利于基层技术人员的培养。在微型机继电保护和自动装置的电气二次接线方面，由于实际工作情况的不同，目前采用最多的仍然是师傅带徒弟和班组学习的模式。这种各自为战的模式不利于技术的交流与推广，也不利于电力系统人才的培养。

鉴于以上各种因素，编者以提高风电场电气二次专业从业者技术技能为出

发点, 针对风电场升压站主要继电保护和自动装置的电气二次回路接线, 结合生产实践, 以国内主流微机保护厂商设备为例, 结合图纸讲解电气二次回路的工作方式, 较少涉及继电保护原理, 主要面对刚参加工作的毕业生, 力求浅显易懂又不失专业性, 使他们能尽快完成理论与实践的结合, 投入工作中去。

本书共分十一章, 内容包括概述、微机型二次设备的工作方式、电气二次回路、电流互感器、电压互感器、断路器操作、110kV 线路保护二次接线、110kV 主变压器保护二次接线、常见故障原因分析及处理、二次系统常用仪器仪表。

电气二次回路注重的是动作逻辑, 而想用简单明了的文字准确的描述动作逻辑是不现实的, 所以某些段落的叙述有些像绕口令, 有时又显得语无伦次, 重复多变, 希望读者能够理解。由于没有现成的资料可供参考, 文中很多定义性的文字全部基于编者的理解而进行的描述, 不代表行业或者学术界对此的统一定义。考虑到目前大多数现场使用的图纸仍用旧文字符号, 为便于读者参考学习, 书中未做修改, 可对照附录进行学习。

限于编者编写水平和编写时间, 书中难免有不足和疏漏之处, 恳请广大读者批评指正。

编者

2017年9月



目 录

前言

第一章 概述	1
第一节 配电装置的基本接线.....	1
第二节 电气一次设备.....	4
第三节 电气二次设备.....	9
第二章 微机型二次设备的工作方式	21
第一节 微机型二次设备概述	21
第二节 各设备工作方式及联系	22
第三章 电气二次回路	26
第一节 电气二次回路图的分类	26
第二节 电气二次回路图的识读	28
第三节 电气二次回路标号	30
第四节 电气二次回路连接导线的选择	32
第四章 电流互感器	34
第一节 电流互感器参数	34
第二节 电流互感器的配置原则	39
第三节 电流互感器二次回路	40
第四节 电流互感器的使用	43
第五章 电压互感器	46
第一节 电压互感器参数	46

第二节	电压互感器二次回路	48
第三节	电压互感器的使用	51
第六章	断路器操作	59
第一节	断路器操作的概述	59
第二节	110kV SF ₆ 断路器机构箱	60
第七章	110kV 线路保护二次接线	71
第一节	RCS - 943A 保护装置	71
第二节	RCS - 943A 的操作回路	76
第三节	PSR662U 测控装置	83
第四节	微机保护、测控、操作箱与断路器的接线	86
第八章	110kV 主变压器保护二次接线	90
第一节	PST671UA 变压器差动保护装置	90
第二节	PST671UB、PST671UC 变压器后备保护	93
第三节	PSR661U 变压器测控装置	98
第四节	主变压器保护装置出口	98
第五节	PCX - BC 非电量保护装置	98
第九章	35kV 线路测控保护	101
第一节	KYN61 - 40.5 型高压开关柜	101
第二节	ISA311G 线路测控保护装置	105
第十章	常见故障原因分析及处理	111
第一节	TV 断线或 TV 异常	111
第二节	TA 断线或 TA 异常	116
第三节	控制回路断线故障	120
第四节	保护插件或监测继电器故障	124
第五节	直流接地故障	128
第六节	光纤及 2M 复用通道故障	131
第七节	后台机、远动机故障	134

第八节	故障录波装置故障	136
第九节	综合自动化系统故障	140
第十节	GPS 装置故障	144
第十一节	加热器、温湿度控制器故障	146
第十一章	二次系统常用仪器仪表	149
第一节	继电保护测试仪	149
第二节	万用表	172
第三节	钳形相位表	176
第四节	绝缘电阻表	180
附录 A	电气常用图形符号	183
附录 B	二次回路常用电气新旧文字符号对照表	190
附录 C	直流二次回路编号组	194
附录 D	交流二次回路标号组	195
附录 E	常见小母线的文字符号及其回路标号	196
参考文献		198



第一章

概 述

电力系统是一个巨大的组织严密的统一体，各种类型的发电厂和变电站按照其各自在电力系统中的不同地位和作用，分工完成整个系统的发电、输电、配电的任务。在电力系统中，通常根据电气设备的作用将其分为一次设备和二次设备。电气一次设备是指直接用于生产、输送、分配电能的电气设备，包括发电机、变压器、断路器、隔离开关、母线、电力电缆和输电线路等，是构成电力系统的主体。电气二次设备是用于对电力系统及一次设备的工况进行监测、控制、调节和保护的低压电气设备，包括测量仪表、一次设备的控制、运行情况监视信号以及自动化监控系统、继电保护和自动装置、通信设备等。风电场作为电力系统总体的一部分，其升压站的作用就是汇集风力发电机电能，并根据风电场规模，以合适的电压等级并入电网。本章主要介绍风电场各级电压配电装置（如集电线路侧、升压站高压侧等）的基本接线和风电场电气设备。

第一节 配电装置的基本接线

一、风电场集电线路侧

1. 风电场集电线路侧接线方式

风电场集电线路侧（35kV 或 10kV）一般是单母线分段接线，分段数宜与主变压器台数一致，各段母线间设置联络开关，这主要是考虑主变压器检修时便于其母线段风机电能的输出，这一点在风电场小风月也可用来使某台主变压器退出运行，以节约一台主变压器的空载损耗（铁损耗）。单母线分段接线的优点是：接线简单清晰、设备少、操作方便、便于扩建和采用成套装置。根据近年来的实践经验，每段母线连接 49.5MW 装机容量时，集电线路宜采用 35kV 电压等级，3 回集电回路。



根据风机布局、风力发电机组的容量及发电机的出口电压（一般为 0.69kV），通常风电场采用二次升压方式。一次升压采用风力发电机组与箱式变压器采用“一机一变”单元接线方式，该接线电能损耗少、接线简单、操作方便，且任何一台风机故障不影响其他风机运行，具有很好的灵活性。经一次升压后，通过集电线路将各风机的电能汇集起来，就近接入升压站，进行二次升压送入电力系统。

发电机与箱式变压器之间设置了框架式空气断路器，其保护配置满足机组的各种继电保护要求，如电流速断、过电流、过负荷、低电压保护及各种机械的超越限保护。变压器（箱式变压器）高压侧一般是配置高压真空负荷开关（额定电流为 630A，关合电流为 50kA），并附插入式全范围保护熔断器（遮断容量为 31.5kA）。

2. 风电场集电线路侧接地方式

风电场集电线路电压侧属于小电流接地系统，宜采用以下三种接地方式：

(1) 不接地方式。我国 10、35kV 电网一般都采用中性点不接地的运行方式。其单相接地故障电流限值见表 1-1。

表 1-1 风电场集电线路侧单相接地故障电流限值

系统及线路	10kV 架空线路、35kV、66kV 系统	10kV 电缆线路构成的系统
限值	10A	30A

(2) 消弧线圈接地方式。当单相接地故障电流超过表 1-1 限值时，应当采用消弧线圈接地方式，且故障点残余电流不得大于表 1-1 限值。为防止集电线路投切电容电流减少，使消弧线圈处于谐振点运行，应采取过补偿方式，过补偿系数取 1.35。厂家制造的消弧线圈最大容量为 3150kvar。

(3) 低电阻接地方式。当单相接地故障电流超过表 1-1 限值时，还可以采用中性点经低电阻接地方式。当集电线路电缆较长时，我国风电场采用此种方式的居多。由于大规模风电场集电线路中电缆较多，其电容电流往往达到 200A 左右，当发生单相接地故障时，大电容电流会严重威胁电气设备的绝缘。特别是 35kV 电缆终端的电气安全，此时 35kV 系统通过接地变压器，中性点采取低电阻接地方式。

二、风电场升压站高压侧

风电场升压站高压侧的电压等级一般为 110、220、330kV（较少），汇集的风电场电能通过相应电压等级的送出线路向系统供电。电力系统所接纳的风

电场,其送出线路以一回线路居多,因此接线力求简单、设备少、操作方便。风电场升压站高电压侧接线一般采用单母线接线,对于小规模(50MW以下)风电场一般采用“线路—变压器”组接线。

三、中性点的接地方式

风电场主变压器中性点的接地方式应按系统规定的接地方式执行,其具体规定如下:

(1) 110kV和220kV系统变压器中性点直接接地,当升压站有2台及以上主变压器时,其接地方式根据系统运行方式,按调度命令确定。

(2) 330kV系统中不允许变压器中性点不接地运行,这是由于操作过电压造成的,从绝缘配合上只能如此。

四、风电场常见的电气主接线形式

风电场常见的电气主接线形式见表1-2。

表 1-2 风电场常见的电气主接线形式

型式 特点	110kV 户外常规设备	110kV 户外 GIS 设备	110kV 全户内 GIS 设备
电压等级	高压侧: 110kV; 低压侧: 35kV	高压侧: 110kV; 低压侧: 35kV	高压侧: 110kV; 低压侧: 35kV
电气主 接线形式	110kV 单母线; 35kV 单母线或分段 接线方式	110kV 单母线; 35kV 单母线或分段 接线方式	110kV 单母线或线变组; 35kV 单母线或分段 接线方式
高压设备 类型	110kV: 常规设备, 户外	110kV: GIS 设备, 户外	110kV: GIS 设备, 户内
35kV 开 关柜形式	35kV 开关柜为手车式, 户内	35kV 开关柜为固定式, 户内	35kV 开关柜为手车式, 户内
适用海拔	海拔 1800m 以下	海拔 1800m 及以上	滨海地区, 污秽相当严重
适用地区 (包括但不 限于)	东北、河北、新疆、内 蒙古等地区	云南、贵州等地区	江苏、山东沿海地区



续表

型式特点	220kV 户外常规设备	220kV 户外 (管母线) 常规设备	220kV 户外 GIS 设备
电压等级	高压侧: 220kV; 低压侧: 35kV	高压侧: 220kV; 低压侧: 35kV	高压侧: 220kV; 低压侧: 35kV
电气主接线形式	220kV 单母线; 35kV 单母线或分段 接线方式	220kV 单母线; 35kV 单母线或分段 接线方式	220kV 单母线; 35kV 单母线或分段 接线方式
高压设备类型	220kV: 常规设备, 户外	220kV: 常规设备, 户外	220kV: GIS 设备, 户外
35kV 开关柜形式	35kV 开关柜为手车式, 户内	35kV 开关柜为手车式, 户内	35kV 开关柜为固定式, 户内
适用海拔	海拔 1800m 以下	海拔 1800m 以下	海拔 1800m 及以上
适用地区 (包括但不限于)	东北、河北、新疆、内蒙古等地区		云南、贵州等地区

第二节 电气一次设备

一、变压器

1. 主变压器

风电场的主变压器一般采用油浸式、低损耗、双绕组有载调压升压变压器,如图 1-1 所示为风电场常用的 SZ10-50000/110 型主变压器,高压侧电压为 $110 \pm 8 \times 1.25\% \text{kV}$,低压侧电压为 35kV,联结组别为 YNd11。

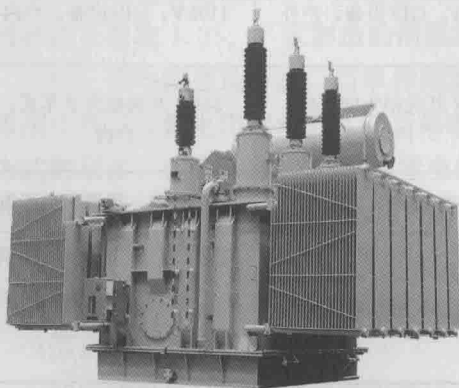


图 1-1 SZ10-50000/110 型主变压器

主变压器容量考虑风力发电场负荷率较低的实际情况以及风力发电机组的功率因数在 1 左右,一般等于风电场发电容量。部分风电场考虑到风电场很少出现满出力运行

工况,而且风电场大风月不在夏季,往往在冬季和春季,这时主变压器周围的环境温度较低,主变压器油箱上层油温在一定限度内能适应过负荷运行,主变压器容量略小于风电场容量。

2. 接地变压器和站用变压器

当升压站内低压侧系统采用消弧线圈接地时,接地变压器和站用变压器应合并。当采用低电阻接地时,接地变压器和站用变压器应分开设置。

当接地变压器容量较小(指低压系统电容电流小于100A,此时采用消弧线圈接地方式),且升压站内低压侧系统采用户内盘柜式设备时,接地变压器可采用干式,与开关柜同室布置;当接地变压器容量较大(指低压系统电容电流大于100A,此时采用低电阻接地方式),接地变压器可采用油浸式,室外布置。

站用变压器一般采用干式变压器,且与低压场用开关柜同室布置。变压器采用节能型11或10型,联结组别为Dyn11。SCBH15-630/10-0.4节能型干式变压器如图1-2所示。



图1-2 SCBH15-630/10-0.4
节能型干式变压器

3. 箱式变压器

风电场每台机组均连接一台箱式变压器,高压侧(集电线路)电压为不接地系统,低压侧(风力发电机组出口)为中性点直接接地系统。

(1) 箱式变压器容量的配置。风力发电机组都是按单元接线配置箱式变压器,其容量配置应满足发电机的最大连续输出容量扣除本机组的机组自用负荷。粗略统计,自用电部分不足4%,又由于油浸变压器有一定的过负荷能力,大风月又值环境温度较低(冬季或春秋季节),因此习惯做法是按机组功率因数 $\cos\varphi=0.95$ (滞后)运行时的发出容量,套用我国现有的变压器系列容量或市场已具有的容量,见表1-3。

表1-3 风电场箱式变压器常见容量

机组容量	750kW	850kW	1500kW	2000kW	更大容量机组
配用变压器容量	800kVA	900kVA	1600kVA	2100kVA	1.05倍配置变压器容量

(2) 箱式变压器的技术参数。大多数风电场使用的是美式箱式变压器,也



有风电场采用欧式箱式变压器，如图 1-3 所示。联结组别为 Dyn11，为油浸、自冷、全密封、低损耗变压器。额定电压为 $U_0 \pm 2 \times 2.5\% / 0.69\text{kV}$ ，额定频率为 50Hz，阻抗电压为 6.5%，噪声水平不超过 55dB，损耗按 11 型变压器的损耗标准要求。

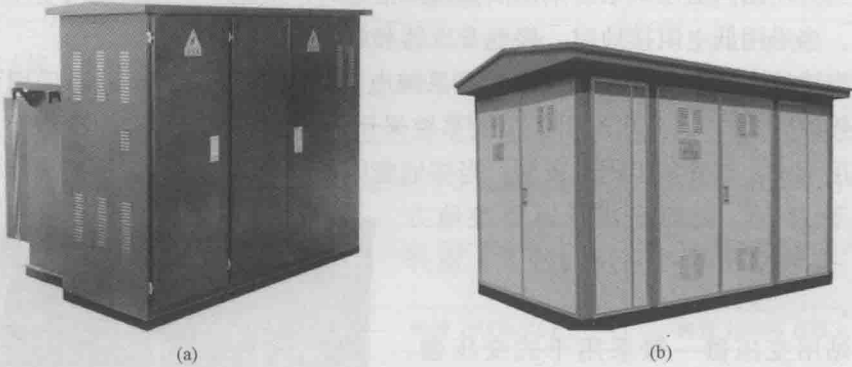


图 1-3 箱式变压器

(a) 美式箱式变压器；(b) 欧式箱式变压器

(3) 其他要求。箱式变压器内低压侧可根据风机厂家的技术要求设置检修用的干式变压器，提供照明、试验电源等。额定容量为 1000VA 左右，额定电压：高压为 690V，低压为 380/220V。

箱式变压器内的信号送到端子排，以实现遥测、遥信，通过端子排使用电缆直接接至风机主控 PLC（可编程控制器），将数据传输到上位机。

二、站内设备

1. 接地电阻和消弧线圈

接地电阻设备一般采用成套柜，户外布置在主变压器压器中性点附近。

消弧线圈若采用干式，可与高压开关柜同室布置，应选用自动跟踪动态补偿式。

2. 无功补偿设备

电力系统通常要求大型风电场升压站设置一定容量的动态无功补偿，以利于系统的静态稳定。无功补偿容量可按主变压器容量的 20% 来设计。目前使用较多的是动态无功补偿装置（SVC 或 SVG）。

3. 高压配电装置

我国大规模风电场直接上网的最高电压为 330kV，因此站内 110kV、

220kV、330kV 配电装置设备根据当地环境条件与结合电网要求，采用敞开式配电装置（AIS）或气体绝缘金属封闭开关设备（GIS）配电装置。AIS 优化了投资成本、安装简单、可视性好、可靠性较高，但其占地面积大、运行维护量较大，且因设备外露部件多，易受气候环境条件的影响。适用于城市以外，非严重污染地区、非沿海地区，且配电装置布置场地满足要求的变电站。GIS 采用绝缘性能卓越的 SF_6 气体做绝缘和灭弧介质，大幅度减小了占地。由于带电部分全部密封于惰性不燃烧气体（ SF_6 气体）中，因而没有触电危险和火灾危险，且对电磁和静电实现屏蔽，噪声小，抗无线电干扰能力强，避免了外界环境的影响，大大提高了运行的安全性和可靠性。此外 GIS 还具有安装周期短、维护方便、检修周期长和抗震能力优良的优点，故新建风电场大多选用 GIS 配电装置，如图 1-4（a）所示。



图 1-4 高压配电装置

(a) 气体绝缘金属封闭开关设备（GIS）；(b) 35kV 成套高压开关柜；(c) SF_6 充气开关柜

风电场升压站低压侧（35kV 或 10kV），目前使用的多为高压开关柜（交流金属封闭开关设备，如图 1-4（b）所示，一般地区选用手车式，高海拔地区可选用固定式 SF_6 充气开关柜，如图 1-4（c）所示。



三、站用电设备

风电场升压站站用电系统应有两路独立的电源，一路引自主变压器低压侧，另一路宜从站外电源引接，如可将原施工电源永久化或从地方升压站取得，也可设置柴油发电机组。站用电系统采用三相四线制，系统的中性点直接接地，系统额定电压为 380/220V。站用电负荷宜由站用配电屏直配供电，对重要负荷有条件时应采用双回路供电方式。

220kV 及以上升压站的站用电系统应为单母线分段接线，可由 5~6 面开关柜组成，两电源各接入一段母线。110kV 及以下升压站的站用电系统应为单母线接线，可由 4~5 面开关柜组成，两电源互为备用。

四、保护设备

1. 过电压保护设备

35kV 及以上的风电场升压站的敞开式高压配电装置，每组母线上应设置无间隙氧化锌避雷器。当避雷器与主变压器及其他被保护设备接近或超过规程规定的最大电气距离时，应在主变压器附近增设一组避雷器；当集电线路侧是开关柜（10kV 或 35kV）时，母线避雷器则与电压互感器布置在同一柜内。

风电场中，110kV 及以上进线无电缆段的 GIS 变电站，在 GIS 管道与架空线路的连接处，应装设氧化锌避雷器，其接地端应与管道金属外壳连接。66kV 及以上进线有电缆段的 GIS 变电站，在电缆段与架空线路的连接处，应装设氧化锌避雷器，其接地端应与电缆的金属外皮连接。对单芯电缆，应经金属氧化物电缆护层保护器接地。

2. 接地装置

风电场升压站的接地应综合考虑热稳定要求和腐蚀，通常接地体采用镀锌扁钢，对于受土壤腐蚀性和地质条件限制的升压站，通过技术经济比较也可采用铜质接地体。接地电阻设计中应考虑土壤电阻率的季节系数。

风电场升压站内，不同用途和不同电压的电气装置、设施，应使用一个总的接地装置，并且接地电阻应符合其中最小值的要求。一般情况下，接地装置的接地电阻 $R \leq 2000/I$ (Ω)。升压站地网的设计一般按复合式接地网考虑，均压网水平接地体的布置间距不宜小于 10m，垂直接地体长度为 2.5m 左右。

当处于高土壤电阻率地区时，若施工后升压站接地装置的接地电阻不能满足 $R \leq 2000/I$ (Ω)，则可采用外引接地进行补充，从复合式接地网上引出多根水平射线，每条射线上连接着外引的复合接地体，如碳棒接地模块、离子井等，以期达到规程的要求值。

第三节 电气二次设备

一、继电保护装置

风电场配置的继电保护主要有线路保护、母线保护、主变压器保护、35(10) kV 线路及母线分段保护、站用(接地)变压器保护、35(10) kV 并联电容器保护等,各类保护都有一定的配置原则。

1. 线路保护装置

线路保护装置主要用于各电压等级的间隔单元的保护测控,具备完善的保护、测量、控制、备用电源自投及通信监视功能,为变电站、发电厂、高/低压配电及厂用电系统的保护与控制提供了完整的解决方案,可有力地保障高/低压电网及厂用电系统的安全稳定运行。可以与其他保护、自动化设备一起,通过通信接口组成自动化系统。全部装置均可组屏集中安装,也可就地安装于高/低压开关柜。线路保护装置配置的主要保护有三段过电流保护、过电流加速保护、过负荷保护、三相一次重合闸保护、低周减载保护、零序过电流保护、电压互感器断线保护、控制断线保护、低电压保护、过电压保护等。线路保护装置配置原则如下:

(1) 每回 330kV 线路配置双套完整的、独立的能反映各种类型故障、具有选相功能全线速动保护,双套远方跳闸保,一套断路器失灵保护。根据系统工频过电压的要求,对可能产生过电压的线路应配置双套过电压保护。

(2) 每回 220kV 线路配置双套完整的、独立的能反映各种类型故障、具有选相功能全线速动保护,终端负荷线路也可配置一套全线速动保护。每套保护均具有完整的后备保护且均应含重合闸功能。

(3) 对于 50km 以下的 220kV 线路,宜随线路架设 OPGW 光缆(也称光纤复合架空地线),配置双套光纤分相电流差动保护。

(4) 220kV 双套配置的线路主保护、后备保护的交流电压回路、电流回路、直流电源、开关量输入、跳闸回路、信号传输通道均应彼此完全独立没有电气联系。

(5) 双重化配置的线路保护每套保护只作用于断路器的一组跳闸线圈。

(6) 110kV 线路应配置一套线路保护,并具备完整的后备保护。

(7) 110kV 架空线路应随线路架设 OPGW 光缆,配置一套光纤纵联差动保护。