

Electrical and Meteorological Technology
and Its Application

电力气象技术 及应用

周 宁 熊小伏 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

Electrical and Meteorological Technology
and Its Application

电力气象技术 及应用

（第二版）

主编 周 宁 熊小伏
编写 李 哲 梁 允 张小斐
卢 明 沈智健



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

电力气象技术是指电力系统与气象相关的技术,包括整个发电、输电、变电、用电环节的气象资源与气象信息和利用技术。本书从电力系统体系架构、中国气象环境特征、电力生产过程特点等方面总结和描述了电力系统中与气象相关的主要因素,介绍了最新的气象技术现状,明确了电力系统各环节可利用的气象参数和信息。由于气象对电力系统安全运行影响尤为突出,本书着重论述了雷电、冰冻、台风、雷雨等恶劣气象环境对电力系统安全的影响及气象风险评估、气象风险预警等新技术。从建立电力系统完善的气象信息应用体系出发,论述了电网气象信息应用系统的组成和结构模式。

本书分为8章,第1章是电力气象概述,第2章介绍电网大停电事故及中国气象环境特征,第3章概述现代气象预报,第4章介绍气象信息在发输电中的应用,第5章介绍影响输电线路安全的气象因素及其监测,第6章介绍电力气象灾害防灾减灾关键技术,第7章介绍电力气象风险评估与灾害预警,第8章是电网气象信息应用系统简介。

本书力求深入研究电力与气象的关系,内容丰富,资料翔实,可供电力技术专业人员使用,也可供相关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电力气象技术及应用/周宁,熊小伏主编. —北京:中国电力出版社,2015.1

ISBN 978-7-5123-6636-7

I. ①电… II. ①周… ②熊… III. ①电力系统—气象服务—研究 IV. ①TM7

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第238839号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2015年1月第一版 2015年1月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 19.25印张 466千字

定价 65.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



前言

电力系统是一个能量转换、传输、分配、消耗的所有子系统的集成，其运行过程与大气环境密切相关，还与能源资源相关，能量在转换、传输、分配等整个环节中的安全性更受大气环境的影响。电力装备在设计、安装、运行中需要考虑气象因素，电力系统的生产调度、检修维护、安全保护中也大量采取了针对不同气象条件的措施。

电力气象技术是指电力系统与气象相关的技术，包括整个发电、输电、变电、用电环节的气象资源与气象信息的利用技术。发电能力和发电安全与气象密切相关，水电站输出功率受水库库容和流域水文条件的影响，而水库库容和流域水文又受流域降水等气象因素影响；风电场输出功率与气象条件关系密切，如风向、风速的变化会引起风力发电功率的变化；光伏电站的输出功率受日照强度、云量的影响很大。

输电能力和输电安全与气象密切相关，导线的输电容量受环境温度、日照、风速、风向等因素的影响；输电线路长期暴露于大气环境中，易受雷电、强风、暴雨、冰冻、雾霾、台风等恶劣天气的影响而发生故障。

用电负荷与气象因素密切相关，电力负荷因为春季农业灌溉、夏季空调制冷、冬季取暖等因素呈现明显的季节性波动，而突如其来的寒潮或高温等因素也会导致负荷短时性大幅波动。

电力系统安全与气象密切相关，气象灾害已成为引发电网系统事故因素中仅次于设备故障的第二大因素。做好气象过程的统计分析，短临、短期、中长期气象预报，灾害性天气的及时准确预报、预警，可为电力系统的设计规划、生产调度、安全保护、事故应急等提供科学依据，最大限度地利用气象资源，促进水能、风能、太阳能等可再生能源的高效转化，做到趋利避害，最大限度地降低恶劣天气对电力系统安全运行的不利影响。

目前，我国超高压、特高压跨区输电需求很大，长距离输电线路日益增多，受复杂气象环境影响输电安全问题更加突出，掌握气象对电力系统的影响规律更加急需。

近年来，为应对气象灾害，保障电网安全，提高供电可靠性，电网公司和气象部门不断加强合作，解决了许多影响电网安全运行的重大问题。特别是 2008 年大范围雨雪冰冻灾害发生后，国家电网公司与中国气象局于 2008 年 12 月联合下发了《关于进一步加强威胁电网安全灾害性天气预警和应对工作的通知》。2010 年 12 月国家电网公司与中国气象局又签署了《关于提高电网气象防灾减灾能力的合作框架协议》，中国南方电网有限责任公司正在着手建设“南方电网气象信息应用决策支持系统”。这些举措将有利于提升电力系统气象信息应用水平，促进气象技术与电力技术的结合，推动气象技术向精细化预报和深度融入用户需求方向发展。

针对气象的电力技术均分散存在于设计规范、运行手册及研究论文中，尚无一本书籍较为综合地总结和分析电力与气象的关联技术。本书力求更深入系统地研究气象与电力系统的

关系，总结近年来电力气象技术的发展成果，为读者快速了解电力气象技术提供方便。

本书由周宁和熊小伏整体策划，共分8章，周宁编写第1章和第4章，熊小伏编写第2章和第7章，梁允编写第3章，张小斐和卢明编写第5章，李哲编写第6章，沈智健编写第8章。全书由熊小伏和周宁统稿。博士研究生王建、乌睿及硕士研究生魏亚楠、翁世杰、刘松等参与了本书的资料收集、整理和书稿录入工作，在此一并表示感谢！

本书作者长期关注电力系统安全问题，近年来负责和参与了多项与电力气象相关的科技项目，书中内容包含了这些项目资助单位在电力气象方面的先进技术。书中还引用了气象领域多位专家的研究成果，还得到了国网河南省电力公司电力科学研究所和重庆大学输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室的大力支持，在此谨向他们表示感谢！

鉴于书中内容涉及多个学科，限于作者知识水平有限，书中不妥之处在所难免，敬请读者批评指正！

编者

2014年6月



目 录

前言

第1章 电力气象概述	1
1.1 电力气象基本概念	1
1.2 电力气象现状	2
1.2.1 电力气象概述	2
1.2.2 电力气象研究与应用中存在的问题	3
1.3 电力气象技术体系	3
1.3.1 电力相关环节与气象因素	5
1.3.2 电力气象关联研究方法	8
1.4 中国能源分布与电力输送	10
1.4.1 中国能源分布	10
1.4.2 跨不同气象区域电力输送通道	11
1.5 电力气象信息利用概况	14
1.5.1 气象能源发电规划	14
1.5.2 发电功率预测	18
1.5.3 电力负荷预测	21
1.5.4 电网气象灾害预警	21
1.5.5 可靠性评估与维修决策	22
1.5.6 电网防灾减灾	22
第2章 电网大停电事故及中国气象环境特征	24
2.1 与气象相关的大停电事故	24
2.1.1 气象灾害造成电力设备故障的主要途径	24
2.1.2 与气象相关的大停电案例	25
2.2 中国自然地理概况	32
2.3 中国自然灾害区划	33
2.3.1 中国自然灾害的特点	34
2.3.2 自然灾害区划方案	34
2.3.3 中国自然灾害分区特征	34
2.4 典型气象灾害	38
2.4.1 台风灾害	38
2.4.2 强对流天气	42

2.4.3	雷暴灾害	45
2.4.4	降雪和积雪	47
2.4.5	冰冻灾害	48
2.4.6	暴雨灾害	49
2.4.7	雾霾灾害	53
2.4.8	其他灾害	54

第3章 现代气象预报 59

3.1	现代气象学概述	59
3.1.1	现代气象学的发展	59
3.1.2	现代气象学主要研究内容	60
3.2	天气预报及业务系统	60
3.2.1	天气预报的内容和时效	60
3.2.2	天气预报常用方法	60
3.2.3	天气预报业务系统	62
3.3	天气图	63
3.3.1	天气图的种类	63
3.3.2	天气图的填绘	64
3.3.3	地面天气图分析	64
3.3.4	等压面图分析	64
3.4	基于天气学的气象要素预报	64
3.4.1	气象要素预报的一般思路	64
3.4.2	常用天气学方法	65
3.5	大气探测	65
3.5.1	大气探测概述	65
3.5.2	云的观测	67
3.5.3	能见度的观测	67
3.5.4	天气现象的观测	68
3.5.5	温度的测量	69
3.5.6	湿度的测量	69
3.5.7	气压的测量	70
3.5.8	地面风的测量	71
3.5.9	降水的测量	72
3.5.10	蒸发的测量	72
3.5.11	辐射及日照时数的观测	74
3.5.12	地基雷电的观测	75
3.5.13	自动气象站	76
3.5.14	高空探测	78
3.5.15	飞机气象探测	78
3.5.16	天气雷达探测	79

3.5.17	激光雷达探测	80
3.5.18	风廓线雷达	80
3.5.19	微波辐射计	81
3.5.20	卫星观测	82
3.6	卫星、雷达资料的应用	83
3.6.1	气象卫星探测资料的应用	83
3.6.2	雷达探测资料的应用	85
3.7	数值天气预报	85
3.7.1	发展状况	85
3.7.2	成就和主要技术问题	86
3.7.3	业务系统	87
3.7.4	天气模式产品解释应用	90
3.7.5	数值预报产品与分发	92
第4章	气象信息在发输电中的应用	103
4.1	风力发电	103
4.1.1	风力发电系统	103
4.1.2	风力发电气象服务体系	105
4.2	太阳能发电	109
4.2.1	光伏发电系统	109
4.2.2	影响光伏发电功率的气象因素	111
4.2.3	光伏发电功率预测	113
4.3	水力发电	113
4.3.1	水力发电	113
4.3.2	水力发电气象服务	114
4.3.3	依据气象信息确定水电运行方式的案例	115
4.3.4	三峡水库气象服务业务系统	118
4.4	输电线路输送容量管理	121
4.4.1	气象因素对输送容量的影响	121
4.4.2	计及气象因素的动态增容措施	123
4.5	负荷预测	124
4.5.1	负荷预测方法概述	124
4.5.2	基于气象因素分析的负荷预测	131
第5章	影响输电线路安全的气象因素及其监测	135
5.1	覆冰	135
5.1.1	覆冰形成机理	135
5.1.2	覆冰引发的输电线故障	139
5.1.3	导线力学计算	141
5.1.4	导线覆冰荷载分析	148

5.1.5	导线覆冰监测	151
5.2	导线舞动	156
5.2.1	舞动的概念及形成机理	156
5.2.2	舞动数学建模	159
5.2.3	舞动数学模型的参数分析	161
5.2.4	舞动监测技术	162
5.3	绝缘子污闪	167
5.3.1	绝缘子积污特性	167
5.3.2	污闪形成机理	172
5.3.3	污秽监测原理和技术要求	175
5.4	雷击	179
5.4.1	雷电机理及参数	179
5.4.2	雷电监测	184
5.5	风偏放电	188
5.5.1	输电线风偏放电机理及影响因素	188
5.5.2	风偏监测的原理及装置	195
5.6	微风振动	197
5.6.1	输电线微风振动机理	197
5.6.2	微风振动监测	199
5.6.3	微风振动监测装置	202
5.7	导线温度和弧垂	203
5.7.1	导线温度与弧垂	203
5.7.2	导线温升及弧垂监测原理	204
5.7.3	导线温度监测装置	206
5.7.4	导线弧垂监测装置	208
5.8	微气象监测	209
5.8.1	输电线路气象监测装置的主要技术要求	210
5.8.2	导线微气象监测装置	210
第6章 电力气象灾害防灾减灾关键技术		212
6.1	电网规划设计中气象灾害预防	212
6.1.1	气象相关的规划设计基础工作	212
6.1.2	气象相关的发电环节规划设计	213
6.1.3	气象相关的输电环节规划设计	214
6.1.4	气象相关的配电环节规划设计	217
6.2	电网运行中气象灾害及其防护措施	218
6.2.1	雷电危害及其防护措施	218
6.2.2	覆冰危害及其防护措施	222
6.2.3	台风危害及其防护措施	224
6.2.4	暴雨危害及其防护措施	225

6.2.5 污闪危害及其防护措施	227
6.3 气象因素致灾后电网快速恢复措施	230
6.4 电力气象试验技术	232
6.4.1 多功能人工气候实验室	232
6.4.2 风洞试验技术	235
第7章 电力气象风险评估与灾害预警	236
7.1 电力系统风险评估基本概念	236
7.1.1 电力系统风险评估	236
7.1.2 风险评估中的数据要求	238
7.1.3 风险量化指标	238
7.2 计及气象因素的电网风险评估	239
7.2.1 元件停运统计方法	240
7.2.2 基于天气预报的元件停运概率预测方法	243
7.2.3 计及气象条件的发输电系统的风险评估	247
7.3 电力系统气象灾害预警原理	249
7.3.1 预警原理	249
7.3.2 预警指标	251
7.4 典型气象灾害预警方法	253
7.4.1 基于气象雷达参数的雷击概率预警	254
7.4.2 基于有效决策界的电网台风预警	257
7.4.3 输电线覆冰预警	261
7.4.4 输电线耐张塔跳线风偏预警	265
7.4.5 基于层次分析法的杆塔滑坡预警	272
7.4.6 线路山火预警	276
7.4.7 绝缘子污闪预警	279
第8章 电网气象信息应用系统简介	282
8.1 系统建设目标和功能	282
8.2 系统总体设计	283
8.2.1 设计原则	283
8.2.2 系统结构层次	284
8.2.3 业务流程	284
8.2.4 系统开发技术	284
8.3 电网气象信息综合数据库	285
8.4 电网气象信息显示查询子系统	286
8.5 电网气象灾害监测与预警子系统	286
8.6 系统运行监控子系统	287
8.7 电力气象技术展望	287
参考文献	289



电力气象概述

本章首先简要介绍电力气象的基本概念，然后结合电力气象的现状和存在的问题，提出电力气象的技术体系，分析中国能源分布的特点和主要的电力输送通道，简述电力气象信息在气象能源发电规划、发电功率预测、电力负荷预测、电网气象灾害预警、电网防灾减灾等方面的利用概况。



1.1 电力气象基本概念

气象：即大气现象指大气的状态和现象，大气中的冷热、干湿、风、云、雨、雪、霜、雾、雷电等各种物理现象和物理过程的总称。

气象学：研究大气及其物理现象的科学，随着研究领域的扩大，20 世纪 60 年代气象学已发展为大气科学。

气象要素：表征一定地点和特定时刻天气状况的大气变量或现象，如温度、气压、湿度、风速、降水量、能见度等。

天气：某一时间某一地区由各种气象要素所确定的大气状况。

气候：对某一地区气象要素（平均值、方差、极值概率等）进行长期统计的天气状况的综合表现。

20 世纪八九十年代，天气预报的主要服务对象仍是农林牧业和公共服务行业，随着电网的快速发展，进入本世纪以来，随着电网规模的不断扩大和延伸，灾害性天气对电网安全运行的影响越来越大，同时随着全球气候变暖、环流异常，灾害性天气产生的概率逐年上升，对电网安全运行的威胁不断增大，面向公众的常规气象预报已不能满足电力行业对气象信息的需求。因此，在参考已有农业气象等专业气象服务的基础上，结合电力行业对气象信息的需求，以及恶劣天气与气象灾害对输电线路和电力设备的影响，尝试定义电力气象的概念。

电力气象是指气象对电力的影响与作用规律以及应对方法。气象对电力的影响与作用从影响对象上包括对发电的影响、对输电的影响以及对负荷的影响；从电力系统应对气象作用的类型上包括气象资源的有效利用，灾害性气象环境的预报、预警，长期气象过程观测与电力设施安全设计与运行等。电力气象既注重广域、大尺度气象环境对电力系统的影响，又注重局部恶劣天气现象可能引发的电网故障。研究电力与气象的关系，目的在于促进广大电力从业人员有意识地利用气象信息，有效地利用气象资源，积极应对气象灾害，保障电力系统安全。



1.2 电力气象现状

1.2.1 电力气象概述

电力是以电能作为动力的能源,发明于19世纪70年代,电力的发明和应用掀起了第二次工业化高潮,是18世纪以来世界发生的三次科技革命之一。20世纪出现的大规模电力系统是人类工程科学史上最重要的成就之一,其是由发电、输电、变电、配电和用电等环节组成的电力生产与消费系统。电能作为二次能源,需从水的动能和势能,风的动能,煤炭、石油、天然气等的化石能,核聚变、核裂变的原子能,以及太阳能等转换而来,再经输电、变电和配电将电力供应到各用户。

气象学起源于16世纪中叶,是研究大气中物理现象和物理过程及其变化规律的科学。气象学的研究领域很广,研究方法也很多。气象学有许多分支学科,如大气物理学、天气学、动力气象学、气候学等。现代科学技术在气象学领域的应用,又有新的分支学科,如雷达气象学、卫星气象学、宇宙气象学等。气象学是一门和生产、生活密切相关的涉及许多学科的应用科学。近年来,随着计算机技术和气象探测技术的发展,气象预测技术有了突飞猛进的发展。气象学的应用也日益广泛,相继出现了海洋气象学、航空气象学、农业气象学、森林气象学、污染气象学等应用学科。

2009~2013年,全球范围内因气候原因造成的影响超过10万人用电的电网故障达28次,占电网大面积停电事故总量的56%。20世纪80年代以前,气象服务的主要对象是农林业,随着社会经济的发展,气象服务逐步走上了专业化的发展道路,目前已拓展形成了航空气象、交通气象、水文气象、旅游气象、能源气象等多个专业研究领域和服务方向,电力气象服务逐渐受到了电力部门和气象部门的重视。

为了进一步提升电网防灾减灾能力,提高电网安全稳定运行水平,近年来各网省电力公司积极加强与气象部门合作,积极开展针对强降水、雷电、大风、冰雹、覆冰、舞动、地质灾害等与电网生产密切相关的气象灾害的预警技术、预警模型和预警系统的建设。如2010年,江苏省电力公司部署了覆盖江苏全省的电网气象监测与分析系统,这一系统与气象部门密布全省的气象观测点和专业的气象分析系统联网,同步接收全省及周边地区的实时气象数据和分析预测信息,电网企业根据这些专业的气象信息提前采取各项应对措施;福建省电力公司与福建省气象台合作开发了福建电网气象信息预警系统,该系统具有卫星云图信息显示及历史信息查询、统计功能,对影响福建电网的突发性灾害天气进行自动跟踪预警;北京市电力公司调度通信中心气象展示平台正式投入运行,气象展示平台拥有分片预报图形、图片资料、预警预报、短期天气实况等8个功能模块,能够直观地展示北京地区的气象预报、变化趋势、预警等信息。上述已建成的系统多停留在气象信息在电网GIS中的呈现,还没有系统地研究电力与气象两个领域的专业交叉和深度融合。本书在研究电力气象技术体系的基础上,选取影响电网的最主要气象因素,利用三维拼图,以及大风冰雹自动识别等气象学科前沿技术;探索线路覆冰舞动机理,并根据生产需求首次创新性地提出舞动风险系数指标;通过归纳山火种类,建立基于卫星定位、地表特征及气象条件的输电线路山火预警模型。在电力气象领域研究深度、广度方面有了较大的突破,形成了基于精细化预测的电力气象关键

技术研究。

1.2.2 电力气象研究与应用中存在的问题

随着电网生产对气象服务预警精度、准确性、及时性,以及气象因素对电网生产影响分析需求的愈加迫切,针对电网生产开发的预警系统,及其提供的气象预警服务存在以下 4 方面问题。

(1) 专业融合不够。天气预报、预警内容未与电网有效结合。目前所有的气象预警系统发布的天气预报、天气预警信息与气象部门面向社会公众发布的预警信息是完全相同或者变化不大的,其发布的特点是“大而全”,未考虑电网生产实际需求,如电网重点线路走廊、重要变电站,以及电力生产相关信息等。

(2) 时间精度不够。气象部门目前向社会公众提供预报的工作机制无法有效提高预见性。气象局一般对第二天的气象信息进行预报,最长会预报 7 天,但这些信息一般情况下以日为单位,无法满足电网不同生产、运行、维护、应急周期对气象信息的需求。

(3) 空间精度不够。天气预报在空间和地理方面的精度无法满足电网生产需求。气象部门发布的预测、预警信息,往往是针对某地市级行政区域的,其准确性无法保证。而电网需要针对“微气候”地区和电网安全的重点地区,获取某一条线路走廊,甚至是几基杆塔周围精确的气象预测、预警信息。

(4) 关联分析不够。未对恶劣天气与电网生产、电网故障之间的影响关系及程度进行分析。目前在恶劣天气对电网影响认知方面,还处于“事后分析”的层面。要提供气象对电网的影响预警信息,还需要从机理分析、统计分析等不同角度开展大量工作,建立电网故障与气象因素间的关联模型。



1.3 电力气象技术体系

近年来,极端气候条件引发的自然灾害严重危害着我国电网的安全生产,进而影响整个社会的生产生活。相关资料显示,在我国恶劣天气引起的电网事故占电网总事故的比例正逐年上升,2004 年、2005 年、2006 年分别达到 17.2%、22.5%和 22.7%。统计数据显示,覆冰、污秽、暴雨 3 种灾害的影响范围最广,分别占电网覆盖面的 80%、70%、80%,涵盖大部分网省公司。山火、台风、雷电的分布范围次之,均占 60%。极端气候条件给电力设施带来极大损害的同时,也给电力系统乃至整个社会的气象防灾减灾能力带来了巨大挑战,但是我国的电力气象防灾减灾和预警技术的发展处于起步阶段,仍然存在着许多薄弱环节,主要表现在以下 6 个方面。

(1) 气象灾害监测站网密度、预警预报精度,以及信息传播水平和时效性需进一步提高。

(2) 气象灾害信息与电网信息的融合不够,无法支持后续的针对灾害的安全稳定分析预警与控制决策。

(3) 应急信息共享平台建设有待加强,许多技术、管理、体制方面的问题需要研究和解决。

(4) 电网企业缺乏具有气象背景的相对专业的技术人员,对电网历史故障和气象观测数



据的分析应用能力有待提高。

(5) 在电网企业和气象部门中均未形成系统的、体系的电力气象研究框架, 因此其研究成果不具备推广应用的条件, 电力气象服务产品的质量也无法控制。

(6) 气象灾害风险管理尚未受到重视, 缺乏风险评价指标体系和评估制度, 应急评估、灾害损失评估、社会影响评估和绩效评估需要进一步完善和提高。

随着电网监测技术的持续发展和气象预测技术的不断进步, 电力和气象数据资源得到了快速地丰富和积累, 这为电力气象预测分析工作的开展提供了有利条件。但目前, 以下几个方面仍需进一步加强: 首先, 电力和气象专业自成体系, 相关的数据资源多在各自系统内应用, 缺少跨专业的数据共享机制; 其次, 电力气象学科缺少相应的理论依据, 相关领域内研究多处于初始阶段, 急需理论依据指导的深层研究及高层应用; 最后, 缺乏相应的保障体系, 电力气象专业涉及电力设计、施工、生产、运行等各个方面, 需要完备的管理流程、管理办法来保障该体系的标准化运作。

因此, 无论是电网发展的客观要求还是气象部门的内在需求, 都要求建立一个涵盖电力生产各个阶段的电力气象整体技术体系, 为电力气象专业的探索研究提供理论指导和科学依据。

在集中整合电网、气象数据资源基础上, 实现电网气象信息服务平台的建设, 以此作为数据基础, 根据不同的气象预测周期, 结合电网主要生产阶段对气象预测预警的实际需求, 开展电力气象关系研究, 为电力气象相关内容的研究、开发和应用提供体系保障。

图 1-1 用三维图展示了不同阶段的电网生产过程中, 电网因素和气象因素的逻辑关系。

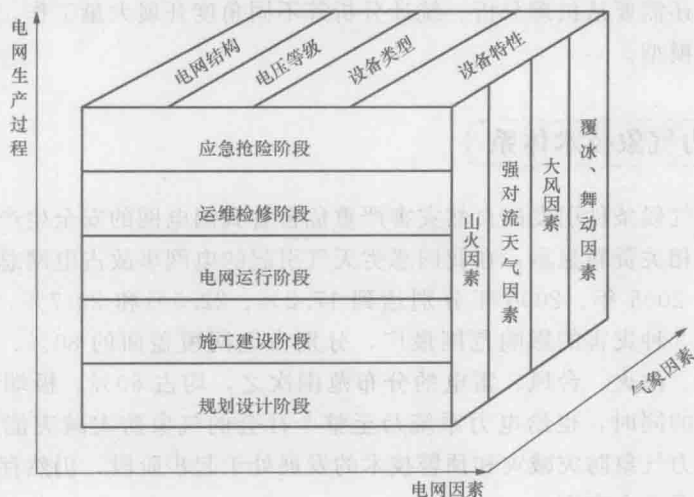


图 1-1 电力气象技术体系三维图

技术体系是指各种技术之间相互作用、相互联系, 按一定目的、一定结构方式组成的技术整体。电网设备与气象关联的电力气象技术体系是通过调研已有机理性分析的结论, 研究不同电力生产的不同环节对气象信息的需求; 通过评估与气象相关的电网故障, 得到气象灾害和电网故障的时空分布特征, 以及典型电网故障的气象致灾边界条件; 再通过对电力气象信息监测与获取、电力气象信息发布与展示、电力气象风险预警等过程的研究综合建立

的，可为以后电网电力气象系统的建设提供技术规范。

图 1-2 描述了不同电网生产阶段，在不同气象因素作用下，不同的电力因素与整个电网生产过程的关系。

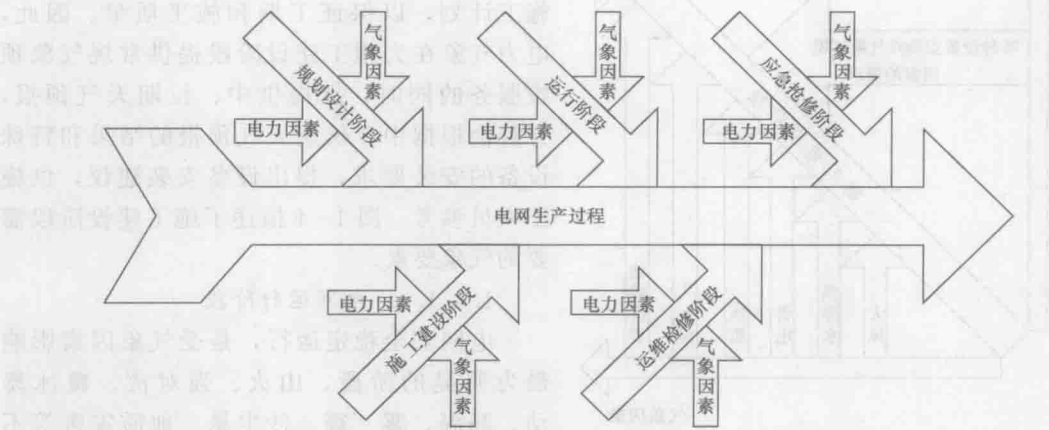


图 1-2 气象因素、电力因素与电网生产过程关系图

1.3.1 电力相关环节与气象因素

1.3.1.1 电网规划设计阶段

规划设计是电网生产过程不同生产阶段的基础，变电站选址、线路走廊选择、设备型号选择、设备参数确定、设备设施保护装置设计等工作都影响着后期的施工建设、运行、运维等生产过程，因此在规划设计阶段必须参照相应的气象因素，根据不同地区不同的气象要素选择适合该环境的设备和设计参数，以保证后期设备运行和运维的安全。规划设计阶段气象因素与电力因素关系如图 1-3 所示。

以前期电网规划设计阶段对气象要素需求进行调研分析的结果为基础，研究并绘制电网风区、雷暴区、山火多发区、冰区、舞区和地质灾害频发区等专题图，为变电站选址、线路走廊选择、设备型号选择、设计参数确定和设备设施保护装置设计等工作提供气象依据，减少后期运行、运维检修阶段的成本支出。

1.3.1.2 施工建设阶段

施工建设阶段也是电网生产过程中一个比较重要的环节，施工进度和设备安装质量不仅关系着生产安全，还关系着后期设备运行的可靠性，特别是某些对安装环境（温度、湿度）有特殊要求的特殊设备，需要提前知道未来几天的温度、湿度、风速、风向等气象要素，以保证特殊设备在安装过程中的质量控制和工程

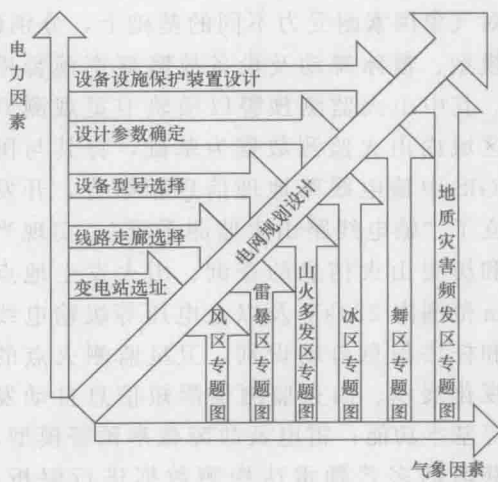


图 1-3 规划设计阶段气象因素与电力因素关系图



进度控制。

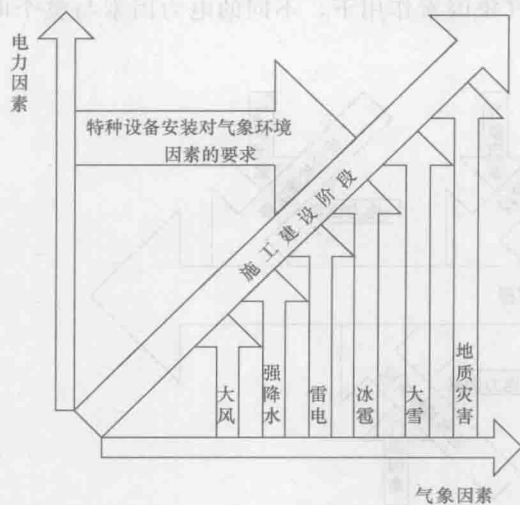


图 1-4 施工建设阶段气象要素需求

通过调研分析, 施工建设阶段主要利用不同气象的预测预警信息, 科学合理地制订施工计划, 以保证工期和施工质量。因此, 电力气象在为施工建设阶段提供常规气象预报服务的同时, 也提供中、长期天气预报, 并且会根据中、长期天气预报的结果和特殊设备的安装要求, 提出设备安装建议, 供施工人员参考。图 1-4 描述了施工建设阶段需要的气象要素。

1.3.1.3 电网运行阶段

电网安全稳定运行, 是受气象因素影响最为明显的阶段, 山火、强对流、覆冰舞动、高温、雾、霾、沙尘暴、地质灾害等不同气象因素或天气现象, 对不同电压等级的电网运行方式、设备的影响不同。通过对不同

气象因素或现象对电网设备产生影响机理的不同, 以及不同电压等级电网或设备耐受特性的分析研究, 并结合电网或设备历史故障的统计分析结果, 建立了针对主网输电线路运行的山火监测预警系统、覆冰舞动监测预警系统、强对流天气监测预警系统, 同时开展了污闪监测预警技术研究、地质灾害监测预警技术研究, 为电网安全稳定运行提供了必要的电力气象监测预警信息, 电网运行人员可根据不同的电力气象预警信息, 合理安排电网调度计划, 降低电网故障概率。图 1-5 描述了运行阶段不同气象因素与不同电力因素的关系。

根据电网运行阶段对气象服务的要求, 以及气象服务的程度, 在考虑不同电压等级设备对气象因素耐受力不同的基础上, 分别建立了山火监测预警模型、雷电及故障概率预警模型、覆冰舞动及设备故障概率预警模型。其中山火监测预警以极轨卫星观测到的区域内山火监测数据为基础, 将其与国网 GIS 中输电线路地理信息相结合, 开发建立了“输电线路山火监测系统”, 实现当日和历史山火信息的查询、山火发生地点 1km 范围内 220kV 及以上电压等级输电线路和杆塔信息自动识别、卫星监测火点的可视化展示、山火监测提醒短信息自动发送等基本功能; 雷电及故障概率预警模型, 对获取的多普勒雷达探测数据进行解析、计算, 利用雷电监测预警模型对雷电单体进行识别、追踪, 预测未来 1~2h 内特定区域内雷电的发生概率, 然后将雷电预测地

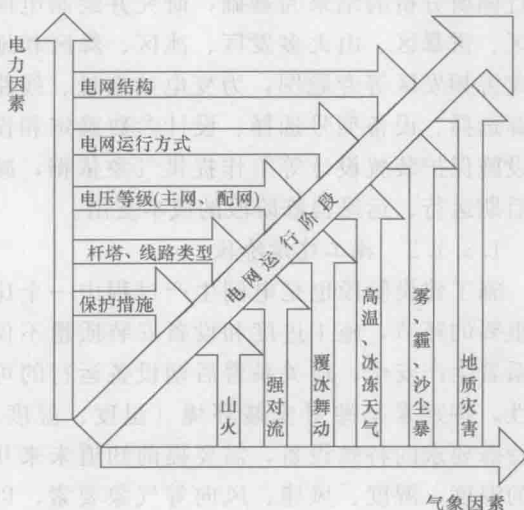


图 1-5 运行阶段气象因素与电力因素关系图

图与电网 GIS 结合,由雷电预警系统自动识别出雷电预测区域内输电线路的基础信息,并制作发布雷电预警短信至相关区域运维人员,指导线路巡检工作;通过建立输电线路覆冰舞动预警概率模型,接入气象学中的数值天气预报结果,预测输电线路覆冰舞动概率,实现覆冰形成过程的气象条件监测和发生舞动故障的概率预警功能。该模型通过对数值天气预报所包括的温度、湿度、风速、气压等要素的综合分析,利用基于统计分析建立的覆冰预测模型,计算出输电线路覆冰量,然后结合输电线路舞动特征和统计分析结果,建立输电线路覆冰舞动能量积聚模型,最后依据输电线路覆冰舞动积聚模型对输电线路进行故障概率风险等级划分,指导线路巡视和电网生产。

1.3.1.4 运维检修阶段

气象因素在运维检修阶段的应用主要体现在运维策略的制定和故障分析上。在主网方面,中、长期气象预测应用较多,利用中、长期预测结果,能够科学合理地制定电网运维策略,特别是用于“迎峰度夏”、“迎峰度冬”等恶劣天气多发和用电高峰时期的运维策略制定,能够很好地指导各级单位开展电网运维工作;在配网方面,短期和临近气象预测更具指导意义,针对短临天气预报结果,结合设备具体情况,能够有针对性地开展设备抢修、维护的准备工作,尽快完成设备检修工作。除此之外,气象信息还用于电网或设备故障分析,在电网或设备发生故障后,利用历史气象信息能够第一时间分析出故障原因,确定故障类型,为开展设备运维工作提供经验。图 1-6 描述了运维检修阶段气象因素与电力因素的关系。

1.3.1.5 应急抢险阶段

在应急抢险阶段,利用中、短期气象预测结果,可以针对不同的气象因素和不同的电力设备,合理制订应急计划、提前调集应急物资、安排应急人员,在保证人员和电网安全的情况下,及时处理电网生产过程中存在的隐患和各类突发应急事件。图 1-7 描述了应急抢险阶段气象因素与电力因素的关系。

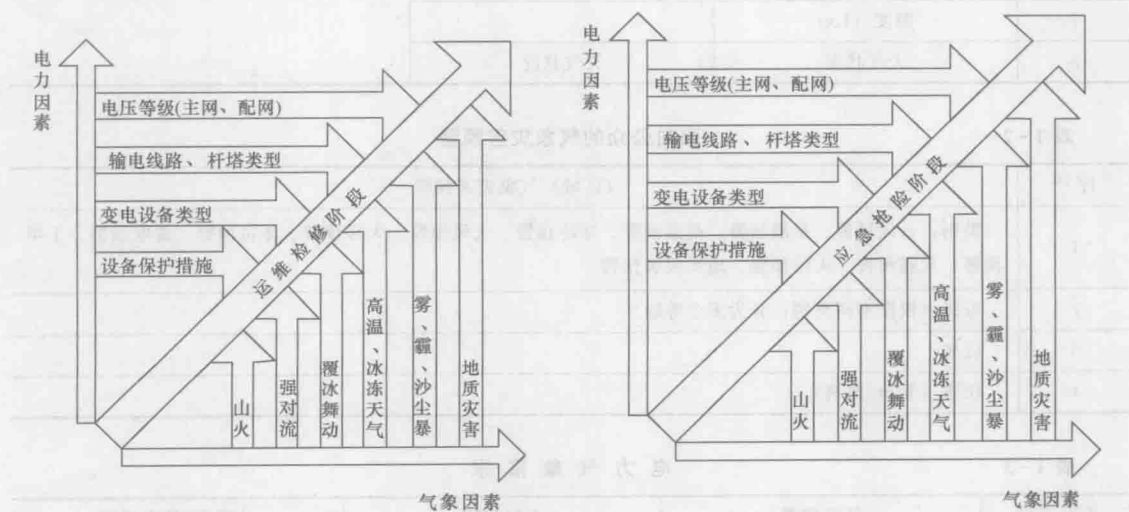


图 1-6 维护检修阶段气象因素与电力因素关系图

图 1-7 应急抢险阶段气象因素与电力因素关系图