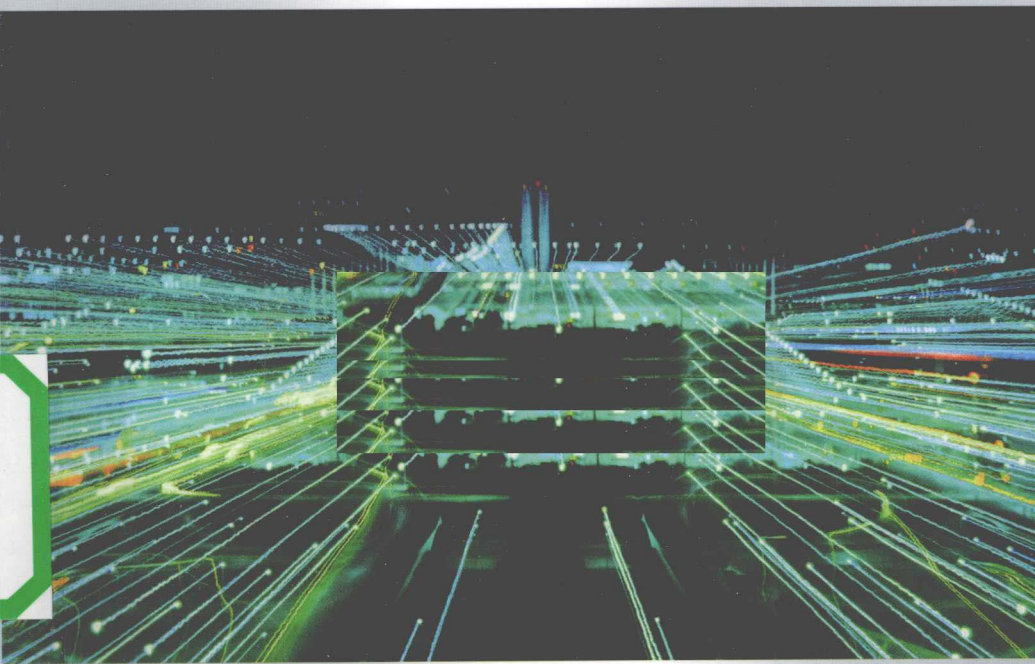


Research on Methodology of Megapolis Power Grid Planning

城市电网 规划方法研究

梁锦照 著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

梁 锦 照

Research on Methodology of Megapolis Power Grid Planning

城市电网 规划方法研究

梁锦照 著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书根据城市电网规划的新形势、新风险、新要求,提出了城市电网规划新模式,该模式能够改善城市电网规划的流程,系统地解决城市电网规划中出现的问题,对提高我国城市电网规划水平具有较大意义。

本书既可供电网规划人员使用,也可供相关专业高校师生阅读、参考。

图书在版编目(CIP)数据

城市电网规划方法研究/梁锦照著. —北京:中国电力出版社, 2010. 7

ISBN 978-7-5123-0518-2

I. ①城… II. ①梁… III. ①城市配电-电力系统规划-研究
IV. ①TM727.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 107888 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2010 年 8 月第一版 2010 年 8 月北京第一次印刷
850 毫米×1168 毫米 32 开本 4.25 印张 85 千字
印数 0001—2000 册 定价 15.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
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

城市电网规划方法研究

城市电网一般是大型受端电网，甚至是巨型受端电网，负荷密度高，供电可靠性要求高，但是，城市土地利用率高，电网规划建设用地难以落实，且不确定因素多，中长期负荷预测准确率误差较大。因此，长期以来，城市电网规划模型与方法电力系统研究的重点问题，新模型和新方法层出不穷，从不同的方面解决了不同的问题。而现有的各种模型与方法不能适应新形势的要求，未解决城市电网规划中的深层次矛盾。

本书根据城市电网规划的新形势、新风险、新要求及其发展趋势，并根据实际工作中的工作经验，提出了新的城市电网规划框架，以及实现该框架的流程、模型、方法，系统地解决了城市电网规划中出现的问题。主要包括：

(1) 改变供电区域按行政区域划分的模式，提出了动态划分供电区域的组团式规划模式与方法。在不同的行政层次之间，加入组团层次，合理划分供电区域。采用组团式规划，可动态划分供电区域，更好地落实分层分区平衡的基本原则，降低不同区域电网的耦合程度，控制短路电流，提高对分布式电源的兼容能力，建立简明、清晰、灵活的电网结构，避免事故扩大，提高不同供电区域之间电网协调程度。

(2) 根据城市电网特点及其发展趋势，提出“以网带点”的规划模式和优化模型，改变“以点带网”的传统规划模式。

在电网规划中, 优先规划输电走廊, 再根据输电走廊规划变电站。在城市土地利用率很高、获得土地使用权成本很高、难度很大的情况下, 通过采用“以网带点”的规划模式, 有效规避电网规划建设用地难以获得的风险; 提高电网规划方案的弹性, 在负荷预测准确率较低的情况下, 具有较高的适应性。

(3) 提出了基于 GIS 和图论的主配网协调规划方法, 实现了主配网的联合优化。

(4) 提出了面向负荷的差异化规划新模式和方法。城市电网需要较强的容灾能力和自愈能力, 是智能电网建设的基本要求。面向负荷的差异化规划新模式, 能降低差异化规划、建设的成本, 充分利用分布式电源在极端情况下的支撑作用, 提高对特殊负荷的保障能力, 为减灾、救灾提供有力支撑。

本书所提出的新模式与方法, 系统地规避城市电网规划中存在的主要风险, 符合城市电网发展的主要趋势, 对提高我国城市电网规划水平具有比较重要的意义。

本书可供电网规划人员使用, 也可供相关专业高校师生阅读、参考。

编者

2010 年 5 月



目 录

城市电网规划方法研究

前言	1
第一章 城市电网	1
第一节 城市电网的特点	1
第二节 城市电网规划的基本知识	3
第三节 城市电网规划面临的新问题	10
第二章 远景负荷预测法	25
第一节 概述	25
第二节 地块划分与地块负荷预测	27
第三节 辐射效应	30
第四节 中区负荷归并	38
第五节 基础设施的拉动作用	40
第六节 本章要点	42
第三章 电网协调程度评估模型	44
第一节 概述	44
第二节 逼近理想解排序模型	45
第三节 不同电压等级的协调评估模型	49
第四节 可靠性和经济性协调规划模型	52
第五节 一体化优化程度评估模型	54
第六节 本章要点	56

第四章 不同分区电网协调规划——组团式规划法	57
第一节 概述	57
第二节 组团划分方法	59
第三节 组团间交换功率优化	62
第四节 优化规划	63
第五节 组团式规划的优点	66
第六节 本章要点	68
第五章 站、网协调规划方法	70
第一节 概述	70
第二节 输电廊带	75
第三节 变电站优化规划	80
第四节 “以网带点”规划方案优点分析	82
第五节 本章要点	83
第六章 主配网协调规划模型与方法	85
第一节 概述	85
第二节 基于 GIS 和图论的变电站属性分析	88
第三节 变电站相邻关系分析	91
第四节 变电站选址与供电范围协调优化	92
第五节 本章要点	95
第七章 城市电网差异化规划新模型	97
第一节 概述	97
第二节 面向负荷的城网差异化规划	100
第三节 差异化规划优化流程与模型	106

第四节 本章要点	115
第八章 结语	117
第一节 城市电网规划新模式	117
第二节 新模式与传统模式的对比	118
参考文献	122

第一章



城市电网

第一节 城市电网的特点

城市电网是城市最主要的基础服务设施，是电力系统的核心组成部分。如何提高城市电网的可靠性、经济性，历来是电气工程学科研究的重中之重，也是业界关注的焦点问题。一般而言，城市电网具有如下特点。

一、大型受端电网

大型受端电网的含义有两个方面：一方面，负荷总量大，负荷密度高；另一方面，在城市电网中，由于环境保护、一次能源有限等因素的影响，电源建设有限，城市电网的大部分电力电量来自外部。我国一线城市和部分二线城市是典型的巨型受端，大部分二线城市都是大型受端电网。2009年，北京电网电力外送比例约为79%，外送电量比例约为76%，且有持续上升趋势。

众所周知，受端电网由于内部缺乏电源支撑，调频和调压能力不足，容易导致电网失稳、解列、电压崩溃。为了防止大面积停电事故，电网结构应比较合理，且应有较大的冗余度。电网规划是形成良好网架结构的源头，为了满足城市

电网的要求，需要针对性强、符合城市电网发展趋势的规划方法。

二、高电压等级深入市中心，承担配网功能

比如部分城市，220kV 电压等级的网络部分承担配电任务。高电压等级的绝缘要求高，安全距离大。高电压等级变电站占地面积大、输电走廊拆迁范围大。在城市电网中，高电压等级的变电站和线路也比较密集，而且深入城市中心，如北京等特大型城市，500kV 变电站已经“深入”市中心。随着我国经济的发展和人民生活水平的提高，以及城市化进程的加速，500kV 和 220kV 输变电设施将深入越来越多的市中心。这将导致严重的用地矛盾。

三、城市土地利用率高，用地矛盾突出

城市电网建设与城市其他基础设施建设之间的矛盾也是困扰城市电网健康发展的重要因素。中国传统的城市电网规划和用地规划是由不同的主管部门独立完成的，二者之间缺乏必要的沟通、配合和协调。变电站布点和线路走廊不一定能适应城市用地规划协调发展的需求，甚至可能还存在比较大的冲突，导致电网规划方案的可实施性较差。

城区土地开发利用率较高，负荷密度越高的区域，城市化率越高，经济发达，土地利用率高，越需要大宗土地以建设输变电设施。这是一对十分突出的矛盾，规划时很难找到合适的变电站地址和线行。例如，北京、上海等特大城市，500kV 电网设施已经深入市中心，为这些高电压等级电网设施落实用地极其困难。

在大部分城市的中心地带,出于安全和景观的考虑,要求输电线路甚至变电站采用地下形式,导致建设成本极高。如北京,要求三环内电缆入地,这一要求还在根据城市的发展持续提高。而入地电缆的建设成本数倍于架空线,这使电网建设成本持续上升。

城市电网自身的特点及其发展趋势和外部环境变化,电网中存在的各种问题,使原有的电网规划模式与方法越来越不能适应目前的发展趋势,影响了电网规划方案的技术经济合理性,同时也影响电网规划方案实施的可行性。因此,必须从规划模式与方法中寻求突破。

第二节 城市电网规划的基本知识

城市电网规划是电力系统规划和城市规划的重要组成部分,科学合理地进行城市电网规划,不但可以实现城市电网安全、稳定、经济运行,而且可以给城市建设发展带来巨大的经济和社会效益。

各种规划的基本思想,首先预测需求,进而根据需求分布与增长情况,在时间和空间上规划供应能力,确保满足需求。城市电网规划、交通规划、自来水供应规划的基本流程与方法等均是如此。总而言之,规划是预测需求总量及需求在时间和空间上的分布,并根据预测结果,布置需求的时间、空间供应能力,以满足未来的需求。不过,与其他行业相比,电力行业具有鲜明的特征,电网规划也因此具有较大的不同。电力行业主要的技术、经济特征如下。

一、电力系统需要维持瞬时平衡

根据能量守恒定律,电能不能大规模经济存储,电力系统需要维持瞬时平衡。这导致电网规划与其他行业的规划相比,具有一个显著的技术特征,即:其他行业的规划,一般以平均需求为依据,以最大需求为参考;电网规划以最大负荷为依据,平均负荷为参考。所以,在电网规划中涉及的各项负荷,一般情况下均是指最大负荷,如负荷预测、电力电量平衡、容载比计算等。

二、电网投资规模大

电力行业是资金密集型、技术密集型产业,城市电网的资金、技术尤为密集。通过优化规划模式与方法,可以节约大量资金,取得巨大的经济效益;反之,电网规划上的任何失误,均可能导致巨大的、数以亿计的经济损失。一般每千瓦发电容量的投资成本为 3000~10 000 元,电网供电容量的投资成本与发电容量的投资成本接近。

三、电网规划需适度超前

“经济要发展,电力要先行”是我国经济建设中一个重要的经验。电力是城市经济、社会发展最重要的基础设施之一,加上城市电网建设周期较长,且城市电网各个部分需要统一协调规划,所以城市电网规划应适度超前经济、社会发展。

若干基本概念在城市电网规划中反复使用,理解这些概念,非常有助于理解城市电网规划。

(一) 负荷率

负荷率是负荷的时间特性。如前文所述,电力系统的规划

中,以最大负荷为依据,以平均负荷为参考。若最大负荷比较大,但平均负荷并不高,导致电网需要建设大量容量,但实际供电量并不大;而且,发电和输变电设备需要深度调峰,负载需要大幅度快速调整,不利于设备保养、节能。因此,为了衡量负荷特性,常用负荷率来评价负荷的时间特性。

定义 1 负荷率是指平均负荷占最大负荷的比例。

负荷率的高低影响电网的安全性和经济性。一方面,负荷率越低,电网设备的利用率越低。如电网的负荷率为 60%,假设最高负荷为 1000 万 kW,则电网需要安排的供电容量需要按照 1000 万 kW 并预留一定的备用,但实际平均的供电量为 600 万 kW·h,使电网设备的利用率偏低,导致电网的经济性下降。另一方面,负荷率偏低,则表明负荷的波动比较大,导致机组出力、电网潮流大幅度波动,使电力系统的可靠性显著下降。

负荷率一般在 50%~75%之间。因工业负荷的利用率比较高,所以工业负荷比重越大,负荷率越高;如我国唐山电网,工业负荷比重接近 90%,其负荷率超过 90%,是我国负荷率最高的大中型城市;长三角和珠三角一些工业比重很大的城市,如苏州、东莞等,负荷率也比较高。居民负荷和商业负荷是负荷率相对偏低的两种负荷,在以商业为主的都市,或者都市中心区域,负荷率一般较低,如北京、上海等都市。负荷率较低也是都市电网规划、运行遇到的重大挑战之一。因此,为了提高电网的可靠性和经济性,需要努力提高负荷率,如采取分时电价等措施,尽量促使用户错峰用电。

(二) 负荷同时率与负荷不同时率

电网中往往存在各个分区最大负荷不同时发生的现象,如一个小区,每个家庭的最大负荷平均为 15kW,设一个小区一共有 300 户住户,但整个小区的最大负荷将明显低于 4500kW,这是因为,各个家庭的负荷不会同时达到最大负荷。负荷同时率就是用来衡量该现象的指标。

定义 2 负荷同时率是指电网最大负荷除以各个分区最大负荷之和的比例。

对某个特定的地区,供电分区划分越细,负荷同时率将越低。当然,负荷同时率的概念,也可以从其他角度去定义,例如,不按照区域而是按照负荷类型划分负荷。若一个地区的负荷分为居民负荷、商业负荷、工业负荷等,也存在负荷同时率的问题。

负荷不同时率与负荷同时率是相对的,一般取负荷同时率的倒数为负荷不同时率。

总而言之,负荷同时率是负荷分布的重要问题,是在电网规划的负荷预测、选址定容等环节需要广泛使用的基本概念。在电网规划中,负荷同时率极其重要的根本原因,是电网需要依据最大负荷编制规划,而不同区域、不同行业的用户,最大负荷不是同时发生的。

(三) 负载率

负载率是电网设备的负载情况,如变电站、变压器、线路的负载率。如前文所述,电网规划以最大负荷为规划依据,因此,这里所说的负载率,也是以最大负荷来衡量的。

定义 3 变电站负载率是指变电站最大负荷与变电站容量的比值。

需要指出的是,变电站负载率是一个微观指标,是衡量具体变电站的负载情况的指标。

(四) 容载比

容载比定义为电网中某个电压等级的变电容量与该电压等级的最大负荷之比。

以 110kV 的容载比为例,其定义为某个区域 110kV 变电容量之和除以该电压等级变电站供电的最大负荷。我国城市电网规划导则规定,110kV 变电站的容载比推荐为 1.8~2.1。

考虑到负荷同时率、负荷分散系数、储备系数等因素,不同电压等级的容载比要求不同。一般 220kV 的容量需求低于 110kV,所以,220kV 的容载比低于 110kV;500kV 容载比低于 220kV。感兴趣的读者可以查阅相关导则,此处不赘述。

容载比与负载率的区别是,容载比是一个宏观指标,是对某个电压等级、某个区域的整体评估。负载率是微观评估,是对具体设备的评估。

容载比是目前电网规划中最常用的概念。容载比的大小,体现了电网中冗余量的大小。容载比越大,冗余容量越大,电网可靠性越高,但电网投资成本也就越大;容载比越低,冗余容量越小,电网可靠性可能受到影响,电网投资成本越小。

容载比也是电网规划方案评估中最重要的指标,例如,省级电网企业审核各地市供电企业编制的电网规划方案时,各地

市、各电压等级容载比是审核的重点。不过，以容载比作为电网规划的核心指标，本身也体现了我国电网规划目前所采用的“以点带网”的模式，该模式存在一定的缺陷，本书将在以下章节深入分析。

（五）规划基准年、水平年

规划基准年是在规划中作为现状的年份。例如，2010 年编制“十二五”规划时，2010 年尚未完全发生，尤其是 2010 年的最大负荷尚未发生，所以，可能选取 2009 年作为“现状”，而“现状”年份，即为规划中的“基准年”。

规划水平年有两种理解，一种是规划末年，如“十二五”规划的水平年为 2015 年；另一种理解是，规划年份中需求最高的年份。我国目前负荷增长比较迅速，鲜见负荷下降的年份，因此，一般情况下两种理解是统一的。

（六）电网规划种类

电网规划从规划时间角度分类，可分为：

（1）远景规划（长期规划、目标规划）。顾名思义，远景规划是对未来较长时间的规划。远景规划可以有两种理解，一种是不确定规划水平年的长期规划；另一种是规划水平年距现在较远的未来（如 30 年）。在远景规划中，确定电网发展的目标。为了保证电网发展有序推进，一般先进行远景规划，以远景规划作为其他规划的基础。

（2）近期规划（短期规划）。电网近期规划，一般是指五年规划，如“十一五”电网规划、“十二五”电网规划。

（3）中期规划。电网中期规划，一般是指十年规划。

(4) 滚动规划。滚动规划每年进行。需要进行滚动规划的原因是多方面的,包括:

1) 负荷预测准确率问题。例如,2009年编制“十二五”规划时,对2014、2015年的负荷预测准确率,一般将低于2013年对上述年份的负荷预测。这是因为,在负荷预测中,距离目标时间越近,信息越多,不确定性越小,因此,负荷预测的准确率一般越高。因此,每年根据实际情况,对规划方案进行滚动修编。

2) 电源规划与建设的不确定性。电源和负荷是电网的两大数据边界条件,如同负荷预测准确率问题,电源规划和建设中存在的不确定性,也影响电网规划和建设,使电网规划需要根据实际情况进行调整。

3) 电网建设过程中的不确定因素。例如,因城市规划调整导致规划中的某变电站或者输电走廊不能落实;或者因周边居民反对,导致变电站或者输电走廊需要迁址等。这些不确定因素,使电网规划需要根据实际情况进行适当调整。

值得注意的是,远景规划确定电网发展目标,因此一般先进行远景规划;近期规划、中期规划、滚动规划,一般不应突破远景规划的网架,以保证规划的严肃性、电网的统一性,如在近期规划中,确立变电站地址时,一般应从远景规划中确定的待建变电站中选取,不宜规划建设在远景规划中没有规划的变电站。

另外,除了近期规划和滚动规划外,其他规划一般不分年编列。分年编列的含义是,分别预测各年的负荷,确定各年的