

研究生教材

 Springer

Electric Power System Planning
Issues, Algorithms and Solutions

电力系统规划典型算法 与解决方案

[伊朗] 侯赛因·赛义菲 (Hossein Seifi)

[伊朗] 穆罕默德·萨迪克·赛帕夏 (Mohammad Sadegh Sepasian) 编著

黄伟 译



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

研究生教材

Electric Power System Planning
Issues, Algorithms and Solutions

电力系统规划典型算法 与解决方案

[伊朗] 侯赛因·赛义菲 (Hossein Seifi)

[伊朗] 穆罕默德·萨迪克·赛帕夏 (Mohammad Sadegh Sepasian) 编著

黄伟 译

张建华 主审



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

电力系统规划典型算法与解决方案/(伊朗)侯赛因·赛义菲,(伊朗)穆罕默德·萨迪克·赛帕夏编著;黄伟译.—北京:中国电力出版社,2017.8

书名原文:Electric Power System Planning Issues, Algorithms and Solutions

研究生教材

ISBN 978-7-5198-0398-8

I. ①电… II. ①侯… ②穆… ③黄… III. ①电力系统规划-研究生-教材 IV. ①TM715

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 028646 号

北京市版权局著作权合同登记 图字:01-2016-0073 号

Translation from the English language edition:

Electric Power System Planning

by Hossein Seifi and Mohammad Sadegh Sepasian

Copyright © 2011 Springer-Verlag Berlin Heidelberg

Springer is part of Springer Science + Business Media

All Rights Reserved

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:牛梦洁(010-63412528) 代 旭

责任校对:闫秀英

装帧设计:王英磊

责任印制:吴 迪

印 刷:三河市百盛印装有限公司

版 次:2017年8月第一版

印 次:2017年8月北京第一次印刷

开 本:787毫米×1092毫米 16开本

印 张:20.5

字 数:503千字

印 数:0001—1000册

定 价:85.00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

电力系统是由许多电气元件组成的，或许是目前人类建成的最大规模的系统。几十年来，电力系统的规模已经发展到可以覆盖许多国家甚至跨洲规模。

一方面，人们应该了解和认识电力系统基本组件的特性、建模和运行。这也是众多关于电力系统的图书得以出版的原因。

另一方面，如果把电力系统作为一个整体来研究，就需要考虑到电力系统的分析、运行和规划等相关问题。电力系统的分析与运行在学术上已经得到某种程度的关注，有关这方面的教材已比较多，而有关电力系统规划方面的研究和教材却并不多。本书旨在研究这一问题。

虽然不能夸大电力系统规划的重要性，但撰写这本书也绝非易事，部分原因如下：

(1) 规划的时间尺度既包括短期又包括长期。虽然所关注的问题有些相似之处，但也不尽相同。

(2) 工程师和专家所使用的具体期限可能完全不同。如有人可能认为长期的电力系统规划应覆盖 20 年或更长时间，而有人可能认为是 5~15 年。

(3) 电力系统分析中所讲的潮流，与电力系统运行中所讲的自动发电控制等基本知识本质上是相同的，在电力系统规划中所使用的算法可能是通用的，也可能是因案例而异的。

这本书旨在研究电力系统长期规划问题，主要集中在输电系统及高压配电系统方面。读者可以通过一些调整，某些章节中的内容用于中期规划甚至短期规划。就长期规划本身而言，有些算法的设计就是为了让其用于不同的时间阶段，与之相应地应该提供足够的输入数据，但这对于长期规划而言可行性并不高。关于模型和算法，各章节中以例子的形式给出，算法的制定也可以使读者根据自己意愿随时进行修改。

本书主要面向电力系统专业的本科生和研究生，以及从事于电力及相关工作，特别是在电力系统规划设计部门工作的工程师和专家。

为了将算法研究与电力系统规划实际问题结合起来，在附录 L 中列出了一些编写好的 Matlab 程序代码。它们是与各章节中所给的实际问题相关的，便于读者理解。一旦涉及任何章节的代码，它们会以 [# X.M; 附录 L: (L.Y)] 的形式表示，X 代表 M 文件的名字，Y 代表相关章节标号。这些代码也可以在出版商网站得到。它们用于解决各章节内的例子或者最后的综合算例。此处声明，本书中的程序设计非用于商业目的，所以教师教学时也可以让学生做一些修改，工程师用于具体工程时也应做一些改进，以满足他们的特殊需求。

本书给出了许多例子。我们尝试使用实际应用中的数据作为输入参数，尤其是一些很重要的经济参数。本书中人为创造一个货币单位 R 来衡量经济价值。

很荣幸，撰写本书使我们在学术上和专业技术上都受益匪浅。本书第一作者是位于伊朗德黑兰的塔比阿特莫达勒斯大学 (Tarbiat Modares University, TMU) 电气和计算机工程院的教授。他指导过 TMU 的 80 多名硕士和博士生。同时，建立了一个国家研究中心 (伊朗电力系统工程研究计算中心)，也是 TMU 的一个附属研究机构，他是主要负责人。在过去的几年中，伊朗电力系统工程研究计算中心参与了超过 60 个关于伊朗大型电力设施规划的项目。

他在伊朗电力系统工程研究计算中心的丰富经验在各章节中得到了体现。他开发了一些商业软件，并为部分伊朗实用工业使用。伊朗电力行业装机容量居世界第八位（约 57GW，2010 年），他的这些经验都来自于这个庞大的系统。

第二作者是水利电力科技大学（PWUT）的大学教师，也是一名伊朗电力系统工程研究计算中心的高级专家。水利电力科技大学隶属于国家能源部，拥有大量处理实际问题的经验。

许多个人和组织的帮助使本书得以顺利编写。我们非常感谢伊朗电力行业的专家与我们进行友好的合作，并帮助我们理解实际问题和要求。也非常享受这个通过开展电力行业的战略规划研究进行学习的机会。

以下是部分专家名字：Rae 先生、Akhavan 先生（来自 Tavanir），Zangene 博士、Zarduzi 女士（来自德黑兰电力公司），Zeraat-Pishe 先生，Asiae 先生（来自法尔斯地区电力公司），Arjomand 先生、Hormozgan Torabi 先生、Ghasemi 先生（来自霍尔木兹甘地区电力公司），Mehrabi 先生（来自亚兹德地区电力公司），Ghare-Toghe 小姐（来自马赞达兰地区电力公司）。Saburi 先生（Tavanir）为第 4 章提供了一些有用的数据。

还应该特别感谢 Ahmadian 博士在成立电力系统工程研究计算中心时从电力部给予的帮助。此外，还要特别感谢穆赫辛尼博士，他一直担任 Tavanir（Tavanir 是伊朗电力行业的控股公司）的规划事务部副总经理。除了提出了非常有帮助的技术见解外，还促进了 Tavanir 与电力系统工程研究计算中心的联系。

在电力系统工程研究计算中心，许多人在软件的开发与行业专家的研讨等方面做出了贡献。如阿克巴里博士、Yousefi 博士、Haghighat 博士、Khorram 先生、Elyasi 先生、Roustaei 先生、Hajati 小姐、Sharifzadeh 先生和 Shaffee-Khah 先生，这些人都值得特别感谢。

还要感谢那些对本书的撰写具有促进作用的人，尤其是我的学生，他们从未停止提出挑战性问题，还要感谢我的朋友的鼓励和支持。Daraeepour 先生编写了 Matlab M 文件代码。Sheikh-al-Eslam 博士、阿克巴里博士、Dehghan 博士、i Elyasi 先生、Hajati 小姐、Roustaei 先生、Khorram 先生、Velayati 先生、Sharif-Zadeh 先生、卡里米先生审查了各个章节，对一些例子提出了一些问题，并为我们提供了一些有益的建议。纳杰菲夫人和特哈尼夫人为整部手稿的录入做了大量的工作。

还有一个人值得特别感谢。Elyasi 先生对本书进行审读、排版、组织手稿和细致编辑，我们对此感激不尽。他非常优秀且有效地完成了一项了不起的任务。衷心感谢来自斯普林格的克里斯托夫·鲍曼教授和他的同事们对这本书提供的准备工作的支持。最后，应该感谢欣然接受我们编写此书时的家庭成员们。

还应该指出的是，本书概述放在了第 1 章中。虽然本书定为是一本教材，但电力系统规划却是一个研究性问题。因此我们特意添加了一章以概括所研究的问题。

最后，我们应该提到，虽然我们已经尽力审查材料，可还是难免存在错误。请大家就书中的错误，提出批评意见，或给我们发电子邮件进行反馈。我们热烈欢迎读者提出建议，改善和提高本书的可信度和准确性。

侯赛因·赛义菲

穆罕默德·萨迪克·赛帕夏

德黑兰，2011 年 5 月

目 录

前言

1 电力系统规划及其基本准则	1
1.1 概述	1
1.2 电力系统元件	1
1.3 电力系统结构	2
1.4 电力系统时间维度特征	3
1.5 电力系统规划问题	5
1.6 小结	9
参考文献	9
2 电力系统优化规划技术	11
2.1 引言	11
2.2 优化步骤	11
2.3 经典优化算法与启发式算法	14
参考文献	21
3 基本经济原则	22
3.1 概述	22
3.2 经济术语	22
3.3 现金流的概念	23
3.4 经济分析	25
参考文献	31
4 负荷预测	32
4.1 概述	32
4.2 负荷特性	32
4.3 负荷影响参数	33
4.4 空间负荷预测	35
4.5 长期负荷预测方法	35
4.6 算例分析	37
参考文献	48
5 单母线电源规划	50
5.1 概述	50
5.2 研究目标	50
5.3 算例分析	50
5.4 数学模型建立	53
5.5 电源规划 WASP 工具包	55

5.6 结果分析	58
习题	60
参考文献	61
6 多母线发电厂扩展规划	63
6.1 概述	63
6.2 算例分析	63
6.3 基于线性规划 (LP) 的发电扩展规划 (GEP)	64
6.4 结果分析	67
6.5 基于遗传算法 (GA) 的 GEP 规划	69
6.6 遗传算法结果分析	70
习题	71
参考文献	72
7 变电站扩展规划	74
7.1 概述	74
7.2 研究目标	74
7.3 典型算例	75
7.4 数学模型建立	78
7.5 复杂算例	80
7.6 结果分析	85
习题	89
参考文献	90
8 电网扩展规划和基本方法	91
8.1 引言	91
8.2 相关基本概念	91
8.3 算例分析	92
8.4 数学模型	96
8.5 优化算法	97
8.6 数值结果	102
习题	104
参考文献	105
9 电网扩展规划和高级算法	107
9.1 引言	107
9.2 研究目的	107
9.3 数学模型	111
9.4 优化算法	114
9.5 待选方案	115
9.6 计算结果分析	115
习题	118
参考文献	118

10 无功规划	120
10.1 引言.....	120
10.2 系统电压特性.....	120
10.3 研究目标.....	123
10.4 系统无功 (RPP) 规划.....	126
10.5 结果分析.....	129
习题.....	134
参考文献.....	135
11 不确定条件下的电力系统规划	136
11.1 引言.....	136
11.2 电力系统放松管制.....	136
11.3 电力系统不确定性问题.....	137
11.4 放松管制环境中电力系统的实际问题.....	139
11.5 电力系统规划中不确定性问题解决方案.....	140
12 电力系统规划的研发趋势	145
12.1 概述.....	145
12.2 发展总体趋势.....	145
12.3 参考文献.....	146
12.4 习题 1.....	154
12.5 习题 2.....	155
13 综合实例分析	157
13.1 概述.....	157
13.2 高压配电变电站的 SEP 问题.....	157
13.3 输电变电站的 SEP 问题.....	164
13.4 高压配电网和输电网的 NEP 问题.....	167
13.5 高压配电网和输电网的无功规划.....	175
附录 A 直流潮流	178
A.1 潮流分析.....	178
A.2 直流潮流算法.....	178
附录 B 一个简单的优化问题	182
B.1 问题设计.....	182
B.2 优化算法.....	182
B.3 Matlab 程序代码.....	183
参考文献.....	191
附录 C 自回归滑动平均模型 (ARMA)	192
附录 D 什么是 EViews	193
附录 E 可靠性指标的计算	194
附录 F Garver 测试系统数据	197
F.1 基本案例.....	197

F.2 改进案例	198
附录 G 地理信息系统	200
附录 H 84-节点测试系统数据	201
附录 I 基本方法的数据信息	214
附录 J 77 节点测试系统数据	216
附录 K 混合方法的详细参数	232
附录 L 生成的 Matlab M-files 代码	239
L.1 GEP1. m	239
L.2 GEP2. m	245
L.3 SEP. m	255
L.4 NEP. m	266
L.5 DCLF. m	288
L.6 ACLF. m	297
索引	312

电力系统规划及其基本准则

1.1 概 述

从只能为一小部分区域供电的小功率发电机，到服务许多国家甚至跨洲的大型互联电网，电力工业已经发展了几十年。如今，电力系统几乎是人造规模最大的系统之一。电力系统由大量的元件组成，小到低功率电器，大到巨型涡轮发电机。这样庞大的系统的运行其实是一件非常复杂的事情。它也带来了一系列需要教育机构和工业组织研究和解决的问题。我们应当在总结过去经验的基础上，使电力系统以一种有效的方式运行，同时对未来提出适当的建议。下面就将讨论到，“运行”这个词是电力系统正常状态的常见术语。电力系统专家使用“规划”这个词来表明未来所需采取的行动计划。过去的经验是为系统的有效运行和规划提供依据。

“规划”这个词来源于及物动词“计划”，意味着在任何工作、作业或进程开始前安排的某种方法或方案^①。在这里它用来指电力系统工作，作业或进程开始前的方案。换句话说，我们即将讨论的是电力系统规划涉及的各种问题、使用方法、影响因素、观察的时间范畴等。我们将简短地定义和描述这些问题，在此之前，简要地回顾了电力系统的元件与结构（第 1.2 和 1.3 节）。为了区分各种电力系统研究，1.4 节中给出了时空特性下的研究方法。电力系统规划问题可以从不同的角度考察，这些在 1.5 节中有详细讨论，第 1.6 节将给出章节概述。此外，本书重点是在长期电力系统规划问题上，这在后面的章节中加以阐述。

1.2 电力系统元件

正如上节所述，电力系统由大量元件组成。这些元件小到电灯开关大到大型发电机，可能尽有不同。本书考虑的主要元件包括：

- (1) 发电设施。
- (2) 输电设施。
 - 1) 变电站。
 - 2) 电网（线路、电缆）。
- (3) 负荷。

事实上，在电力系统规划中，主要关注的并不是每个元件的设计细节。例如，对于一种发电设施，仅需要确定其类型（汽轮机、燃气轮机等）、容量以及位置^②。在 1.3 节中，我

^① 网页 dictionary.reference.com。

^② 值得提及的是下面基本的电源规划比如上文提到的，要求详细的电厂规划，需要给出所有元件的技术规范。这实际上是电厂设计问题，本书不做讨论。

们将看到这些元件是如何组成典型电力系统的。

1.3 电力系统结构

假定读者已经熟悉电力系统的基本概念，为了强调影响电力系统规划的各个要素，图 1-1 展示了一个典型的电力系统，包括发电、电网和负荷几部分。发电机和负荷分布在整个系统中。因此，应该提供所发电能传送给负荷的端口。电源可能是一个小型太阳能电站或一个柴油发电机，也可能是一个巨大的核电站；同样，负荷小至商店或家庭，大到一个大型工业园区。出于技术和经济方面的考虑，发电电压可能高达 33kV，而负荷电压可能会低得多。此外，电源可能远离负荷中心。为了减少电能损失，使电能传输具有可行性，将机端电压进行升压，而在受电端（负荷中心）再将电压降压。因此，在发电机和负荷之间的各个连接端口的电压有多个等级，如 20、63、132、230、400、500kV，甚至更高^①。具体采用的电压等级取决于各个国家的实践经验。然而，无论采用什么电压等级，通常根据工业实践将这些电压等级划分为：

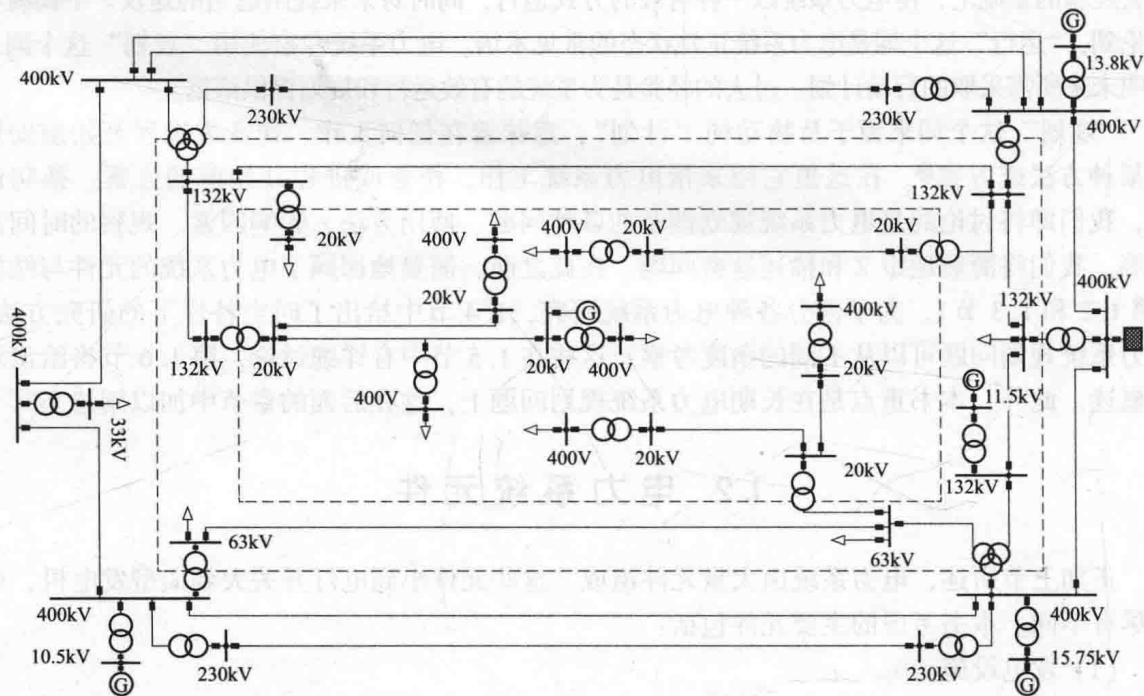


图 1-1 典型电力系统

- (1) 输电电压（如 230kV 或更高）。
- (2) 高压配电网电压（63、132kV 及相近的电压）。
- (3) 中低压配电网电压^②（如 20kV 及 400V）。

由于电压等级不同，不同的变压器分配在全网的各个变电站中。例如，一个 400kV 变

① 超高压（EHV）这个词通常用于电压约 400~500kV。UHV（特高压）这一术语用于 735、765kV 和更高的电压。

② 对于配电网，400V 左右的电网称低压配电网，而 20kV 左右的归类为中低压配电网。

电站^①可能由四台 400kV/230kV 变压器组成。变电站中还配有断路器、电流互感器和电压互感器^②、继电保护设备等。一个典型变电站的布置如图 1-2 所示。

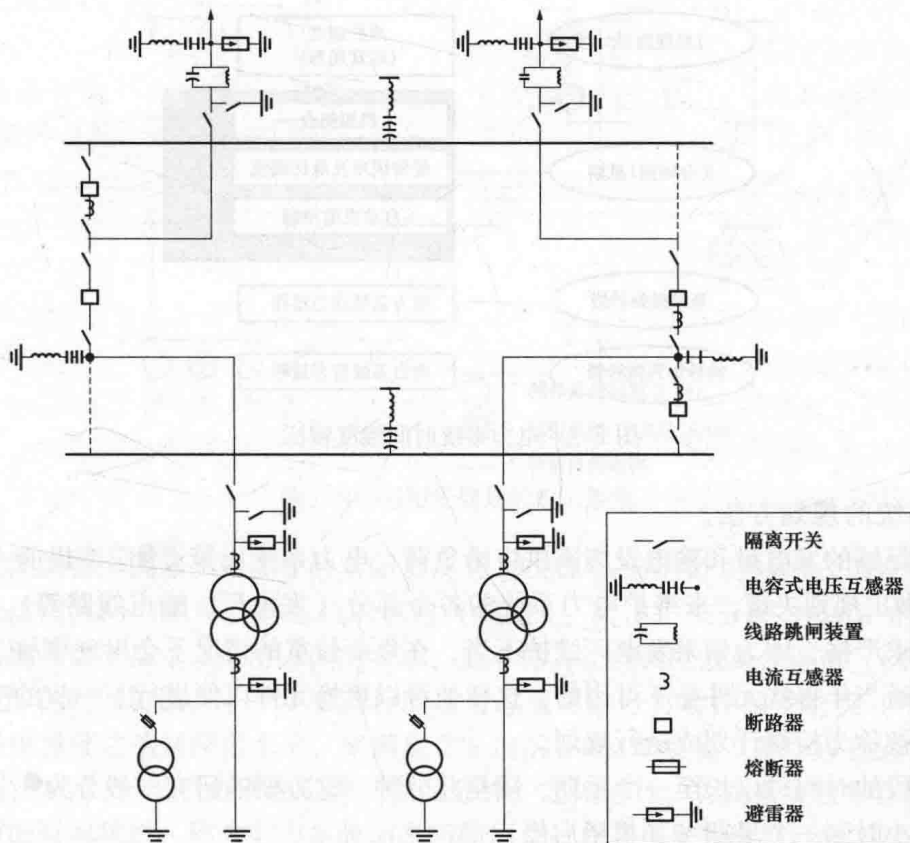


图 1-2 典型变电站的布置

1.4 电力系统时间维度特征

如前所述，对当前和未来电力系统的研究分别称为运行和规划，现在我们用更准确的术语来定义它们。在此之前，先要提及电力系统专家在现实生活中进行的两个经典研究。

首先，假设能够预见 10 年以后的负荷，需要建设一个能为其提供服务的新发电厂。专家们需要确定发电厂的容量、类型及其接入电网的位置。一旦做出正确的规划，其建设必须提前开始，这样发电厂才可以在 10 年之内建成使用。这是一种典型的电力系统长期规划（图 1-3）。

其次，假设要建造一条穿越山区的输电线路，线路建成之后有可能受到闪电的影响。闪电是一种相当迅速的自然现象，以至于它可以在纳秒级时间内影响系统。设计师应当在这种极速情况下适当地对系统进行建模，并进行相应的研究，然后对线路做适当的规划，以确保实践中这样的闪电发生时线路不会瘫痪。这是一种典型的短期时

① 变电站通常用变压器高压侧的电压来命名。

② 用于测量。

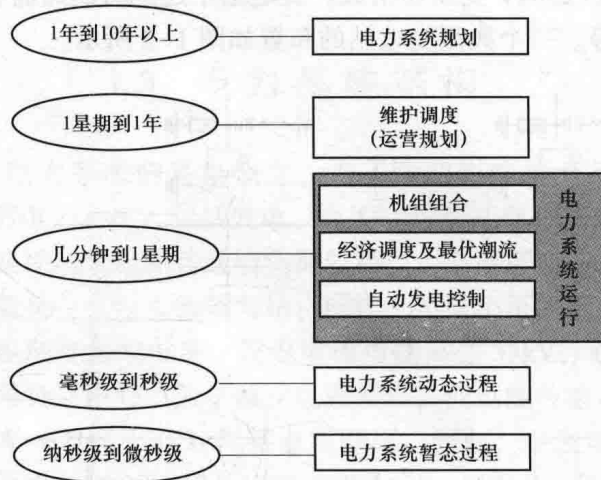


图 1-3 电力系统时间维度特征

间内电力系统的规划方法。

假设有足够的发电量和输电设施来供应给负荷，电力系统决策者^①应该提前一周以至一年的时间^②做出规划决策，来维护电力系统的各个部分（发电厂、输电线路等）。对这种类型的规划要求严格，因为如果发电厂维护不当，在负荷较重的情况下会出现事故。此外，决策者应该知道当年哪些元件是不可用的，这样他可以更换元件以便进行下一步的决策。这种类型的决策被称为检修计划或运行规划。

运行阶段的时间可以长至一个星期、短至几分钟。这方面的研究一般分为^③：

- (1) 几小时到一个星期（如机组启停）。
- (2) 几分钟到一小时 [如经济调度、最优潮流（OPF）]。
- (3) 几分钟内 [如自动发电控制（AGC）]。

简要分析以上三种情况，假设在未来一周时间内，系统中 10 台发电机中的 3 台因为检修计划不能发电（图 1-4）。决策者需要在接下来一个星期的每个小时内合理使用能正常运行的发电机来为预测负荷供电。此外，还应该确定每个发电机的输出功率情况，因为所有发电机的总发电量可能明显高于预测的负荷。这种类型的研究通常被称为机组组合。他们的决策可能是出于一些技术考虑或经济考虑，或者两者兼顾^④。最后决策可能有以下几种形式：

- (1) 通过机组 1（发电功率：100MW），机组 3（发电功率：150MW）和机组 6（发电功率：125MW）的组合，在一个星期内（168h）的第 27h 来提供给 375MW 的预测负荷。
- (2) 通过机组 1（发电功率：75MW）和机组 3（发电功率：120MW）的组合，在一个星期内的第 35h 来给 195MW 的预测负荷供电。

一个星期内的每个小时都对对应生成一个发电计划。对于实际的某一个小时，实际负荷可

① 决策者可能是一个实用程序、控制中心、系统操作员或其他类似的。
 ② 这里时间边界的定义是不变的，它们的变化依据用户经验。
 ③ 运行阶段只涉及一些典型的研究。实际的研究可能会考虑更多，但通常都在所提到的时间段之内。
 ④ 读者可以参考一些从监管角度或市场角度出发有关运行的书籍。章节最后的参考文献里有一部分参考书。

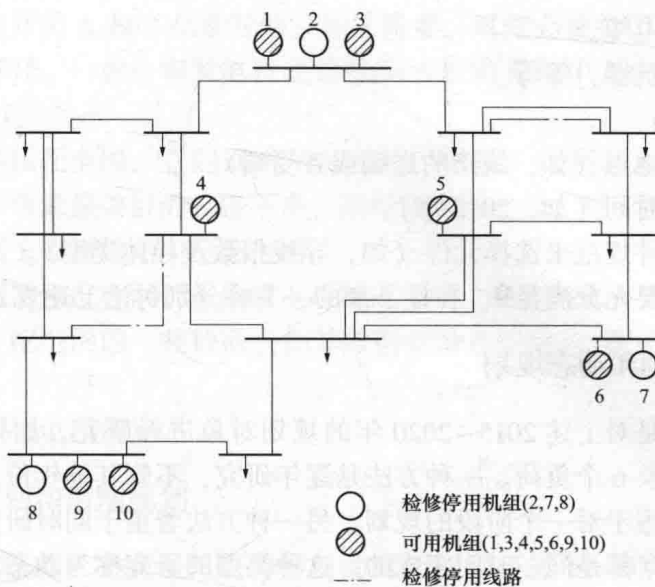


图 1-4 可用于规划的电力系统

能不等于预测负荷。例如，第 27h 的实际负荷为 390MW，而不是 375MW，因此需要进一步研究如何在这些时间内用可正常运行的机组（机组 1、3、6）来分配 390MW 的实际负荷。这类研究可能是出于技术或经济方面的考虑，通常称为经济调度或最优潮流（OPF）^①。

对于更短的时间阶段，下一步要进行的是通过遥测信号自动控制发电机（例如机组 1、3、6）的发电量使之达到所需水平，来满足 27h 内的 390MW 负荷。这个过程通常被称为自动发电控制（AGC），而且必须在定期（如几分钟）之内进行，否则系统频率会发生改变。

在更短的时间阶段，称为电力系统动态问题，其过程是在毫秒级到秒级之间。在这个时间阶段内，例如发电机励磁系统和调速器等元件的影响可能会非常明显。两个典型的例子是稳定性研究（如小信号、大信号、电压稳定等）和次同步谐振（SSR）现象^②。

图 1-3 的末端包括电力系统中发生的瞬时变化。即所谓的电力系统暂态分析，它包括雷击、开关切换等相关过程的研究，其发生时间从毫秒到纳秒，甚至皮秒^③。

这本书的主题是电力系统规划，在 1.5 节讨论更多这方面的内容。

1.5 电力系统规划问题

如 1.4 节所述，电力系统规划是对电力系统在未来 1~10 年或者更久时间范围内的研究。在本节中将给出更细的分类。在此之前值得一提的是：电力系统规划是通过新的、正在升级的现有电力系统各元件做出规划，来满足未来的预测负荷的一个过程。

这些元件可能是：

- (1) 发电设施。
- (2) 变电站。

① 最优潮流需要对问题进行更复杂的建模。可参考文章后面的参考文献。

② 感兴趣的读者可以参考相关课本。可参考文章后面的参考文献。

③ 见脚注②

- (3) 输电线路或电缆。
- (4) 电容器、电抗器，等等。

所做的规划包括：

- (1) 元件的安装地点（如，线路的送端或者受端）。
- (2) 元件的安装时间（如，2015年）。
- (3) 如何按照元件规范来选择元件（如，导线根数及导体类型）。

显然，负荷需求要充分满足^①。在接下来的一节将分别讨论上述规划问题。

1.5.1 静态规划和动态规划

假设这里的任务是对上述 2015~2020 年的规划对象进行研究。如果要研究高峰负荷情况，那么该研究要涉及 6 个负荷。一种方法是逐年研究，不管其他年份。这种类型的研究被称为静态规划，它着重于对一个阶段的规划。另一种方法着重于同时研究所有 6 个阶段，因此 6 个阶段的解决方案都是同一时间完成的。这种类型的研究称为动态规划。

显然，静态规划为某一年提供了一些有用的信息，但这样的过程可能会给出不切实际的结果，因为实际上某一年的解决方案不能与其前一年的解决方案相对立。解决这个问题的方法是将每一年的结果计入到下一年的研究中。这些方法称为半静态规划、半动态规划、准静态规划和准动态规划。很明显，动态规划解决方案相对于半静态规划为更优的解决方案。

应该注意的是在这里提到动态这个词不应与 1.4 节所提及的电力系统动态相混淆。

1.5.2 输配电规划

在前面的 1.3 节中讨论过将电网结构分为 3 个主要的层次：输电网、高压配电网和中压配电网。经常对配电网进行规划，并且配电网通常是放射式的电网运行。图 1-5 描述了一个典型的配电网，首端是一个 63kV/20kV 变电站，通过 20kV 和 400V 馈线连接到末端的各

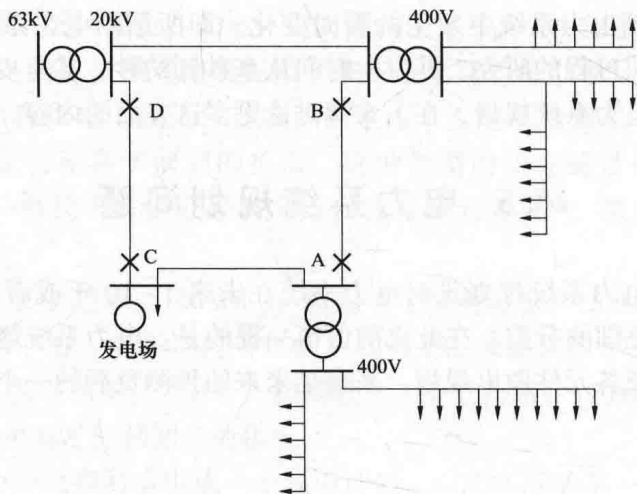


图 1-5 典型的放射型配电网

^① 在本书中，我们将通过实例来实现满足负荷的需求。

类型的负荷。应注意开关 A 和 B 是常开的, 如果需要, 可能会被关闭; 开关 C 和 D 是常闭的, 如果需要可以打开。一台小型发电机也连接到该配电系统中, 作为一种当地电源 (称为分布式电源或 DG)。

对于输电网和高压配电网, 它们通常是互联的, 如图 1-1 所示。根据所需的和所参与的研究, 通常情况下两者是类似的。接下来, 除特殊说明之外, 对于输电网指的是输电网和高压配电网, 配电网主要指的是中压配电网。

可以看到, 输电网和配电网都是由输电线路或电缆、变电站和发电站组成。虽然大部分是相似的, 然而由于配电网的一些特征 (如其放射状分布特性), 配电网规划与输电网规划通常有所不同^①。

本书中主要关注输电网规划。

1.5.3 长期规划和短期规划

1.4 节中提到过电力系统规划问题所涉及的时间范围可能 1~10 年, 甚至更长的时间。假设对于未来一年的高峰负荷情况, 电力系统专家注意到有两条线路向一个变电站供电, 其中一条线路超过线路额定容量 10% 运行, 而另一条线运行负荷为其 60%。经过仔细研究发现, 如果在一条线路上安装控制装置^②后, 负荷分布会在两条线之间平衡。一旦设计好了, 安装的设备可以在未来一年内安全运行, 不引起任何问题。这就是一个短期的输电网规划。

从特殊情况来看, 假设未来几年的负荷预测表明, 即使已有的和待建的发电机全部投入运行, 9 年以后总发电量还是不足。经过仔细研究后, 研究者决定在规划水平年在特定的母线上增加两座 500MW 的火力发电厂。火电厂的建设要提前进行, 这样它才可以在所需的年份投入使用。这样一决策是典型的长期 (9 年后) 输电网规划。

对于长期规划和短期规划的划分并没有特定的黄金法则。通常情况下, 一年以内的是运行问题 (1.4 节提到), 其目的是以更有效的方式管理和运行可用资源, 超过一年的是规划问题。如果新设备的安装和系统状态的预测能在较短时间内 (如对于配电系统, 1~3 年) 完成, 这可能用到短期规划。时间更长 (3~10 年或者更长) 的为长期规划 (通常为输电规划), 这时预测系统会在更长的时间阶段内进行。此外, 安装一个新元件 (如 765 kV 特高压线路或核电站) 应事先做好规划, 这样它就可以在适当的时候投入运行。

虽然本书的重点是长期电力系统规划, 需要指出的是, 上面提到的典型年份划分通常取决于各个地方的实践经验。提出的方法一般都足以适用于输电规划问题 (无论是短期或长期的), 但不一定适用于配电网规划问题 (尽管一些共同的思路是一致的)。

1.5.4 输电网规划的基本问题

在前面章节讨论的所有关注点之后, 现在来研究输电网规划。在文献中通常用到的词是输电网扩展规划 (Transmission Expansion Planning, TEP), 这表明我们关注的是长期问题。应该指出, 本书为了避免配电网规划和涉及高压输电网规划的问题之间的混淆, 这里使用了术语 TEP 强调研究中考虑的是输电网和高压配电网。使用电力系统规划的一般术语, 并指

① 读者可以参照相关书籍来了解更多电力系统配电的知识。可参考文章后面的参考文献。

② 如移相变压器。

出配电网规划是不在本书讨论范围内的。有时候，电网扩建规划（NEP）的术语也用于指出相同的概念。虽然本书在研究网络（线路、电缆等）的扩展时使用 NEP 一词，但我们没有遵循这个词的思路。1.5.4.1 节~1.5.4.6 节，将介绍 TEP（或者说是电力系统规划，不包含配电网规划）的研究主题。在本书中不经常使用 TEP 这个术语，但其实际的问题是在考虑之内的。

在 1.6 节中，将会讨论本书是如何组织各章节来阐明这些观点的。

1.5.4.1 负荷预测

任何规划研究的第一个重要步骤是预测期限（如 2015~2020 年）的消耗量，因为所有的后续研究都将基于这一点。这里消耗量指的是负荷预测。电力系统运行也同样需要负荷预测。然而，用于运行计划的短期负荷预测与用于规划的长期负荷预测是有很大差异的。在短期负荷预测中，以预测下周负荷为例，预测未来一周每小时的负荷。很明显，其决定性的因素可能是天气状况，特别像电视节目或天气预报类似的情况。

长期负荷预测是本书主要研究的内容，通常希望预测未来几年的负荷峰值。很明显，其决定性的因素是不同的。人口速度增长、GDP（国内生产总值）^①和类似因素都是主要影响。

1.5.4.2 电源扩展规划

负荷预测之后，下一步是确定电源容量以满足负荷需求。显然，有一个简单的办法就是假定电源的增长量与负荷增长量相同。例如，在 2015 年，峰值负荷将达到 40000MW，同时，有效发电容量只有 35000MW，那么，就需要增加 5000MW 的发电容量。但这个问题的解决方案实际上并没有那么简单。其主要问题有：

- (1) 需要建设什么类型的电厂（火电厂、燃气电厂、核电厂等）。
- (2) 需要在什么地方（分布在 5 条母线或者 10 条母线中等）建设电厂。
- (3) 需要多大的装机容量（5×1000MW，2×1000MW，6×500MW 或者是其他的机组）。

由于有可能有电厂（现有的或新建的）停机状况，是否需要建设额外电厂来应对这些情况；如果需要，那么还存在应该建成何种类型的电厂、建在哪里以及怎样建设等问题。

除此之外，还需遵守其他约束，这将在本书的后面讨论。这是一个非常复杂的问题，通常被称为电源扩展规划（Generation Expansion Planning, GEP）问题。

1.5.4.3 变电站扩展规划

一旦负荷预测和电源容量都已确定，下一步就是变电站扩建规划，包括以下内容：

- (1) 变电站增容。
- (2) 新建变电站。这被称为变电站扩建规划（Substation Expansion Planning, SEP）。SEP

是一项艰巨的任务，因为这其中包含着许多约束条件，例如：

- 1) 由上级电网向变电站供电的约束。
- 2) 由变电站向下级电网负荷供电的约束。
- 3) 变电站自身遵循的一些约束。

1.5.4.4 电网扩展规划

在电网扩展规划（Network Expansion Planning, NEP）过程中，网架结构（如传输线、电缆等）是确定的。事实上，电网是以高效和可靠的运行方式将电能从电源侧传输到负荷

^① 对经济关系的描述见第 3 章。