

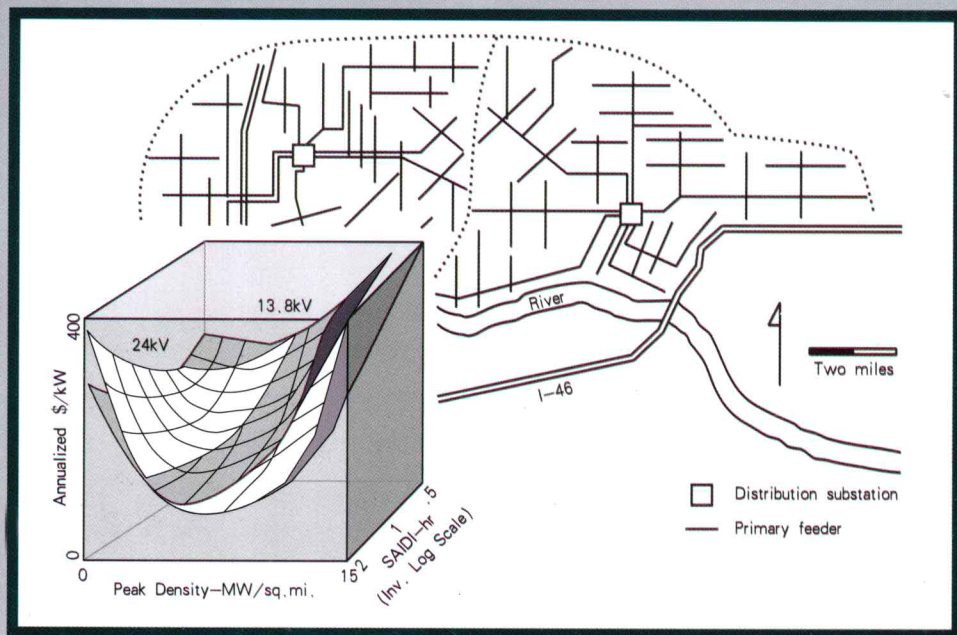
配电系统规划 参考手册(第二版)

Power Distribution Planning Reference Book(Second Edition)

[美] H. Lee Willis 著

范明天 刘健 张毅威 等译

中册



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



CRC Press
Taylor & Francis Group

TM72-62

07

V2

配电系统规划 参考手册(第二版)

Power Distribution Planning
Reference Book(Second Edition)

〔美〕H. Lee Willis 著

范明天 刘健 张毅威 等译

中册



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

Power Distribution Planning Reference Book, Second Edition/by H. Lee Willis/ISBN: 0-8247-4875-1

Copyright© 2004 by Taylor & Francis Group, LLC

Authorized translation from English language edition published by CRC Press, part of Taylor & Francis Group LLC; All rights reserved; 本书原版由 Taylor & Francis 出版集团旗下, CRC 出版公司出版, 并经其授权翻译出版。版权所有, 侵权必究。

China Electric Power Press is authorized to publish and distribute exclusively the Chinese (Simplified Characters) language edition. This edition is authorized for sale throughout Mainland of China. No part of the publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher. 本书中文简体翻译版授权由中国电力出版社独家出版并限在中国大陆地区销售。未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Copies of this book sold without a Taylor & Francis sticker on the cover are unauthorized and illegal. 本书封面贴有 Taylor & Francis 公司防伪标签, 无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记
图字: 01-2008-2537 号

图书在版编目 (CIP) 数据

配电系统规划参考手册: 第 2 版/ (美) 威利斯 (Willis, H. L.) 著; 范明天等译. —北京: 中国电力出版社, 2013

书名原文: Power Distribution Planning Reference Book, Second Edition
ISBN 978-7-5083-8521-1

I. ①配… II. ①威…②范… III. ①配电系统-电力系统规划-技术手册
IV. ①TM715-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 180040 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

*

2013 年 2 月第二版	2013 年 2 月北京第一次印刷
270 毫米×1000 毫米	16 开本 86.875 印张 1589 千字
印数 0001—3000 册	定价 240.00 元 (上、中、下册)

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

目 录

中文版序一
中文版序二
译者前言
原版前言

上 册

基 础 篇

第 1 章 输配电系统	3
1.1 引言	3
1.2 输配电系统的任务	4
1.3 供电可靠性	5
1.4 输配电系统遵循的基本法则	8
1.4.1 分层级的电压等级	9
1.5 输配电系统的不同层级	10
1.5.1 输电层	13
1.5.2 高压配电层	14
1.5.3 变电站层	14
1.5.4 馈线层	16
1.5.5 供电层	18
1.5.6 输电和配电的划分	18
1.6 公用配电设备	19
1.6.1 输电线路和配电线路	20
1.6.2 变压器	20
1.6.3 开关	21
1.6.4 保护以及保护装置	21
1.6.5 电压调节装置	22
1.7 输配电系统费用	24

1.7.1 输电系统费用	24
1.7.2 变电站费用	24
1.7.3 馈线系统费用	26
1.7.4 供电层费用	26
1.7.5 运行和维护费用	27
1.7.6 设备改造费用	28
1.7.7 电能损耗费用	28
1.7.8 输配电系统总费用	31
1.8 配电系统设计的不同类型	32
1.8.1 辐射状系统	33
1.8.2 环状系统	34
1.8.3 网状系统	35
1.8.4 大主干线与多分支线的布局方式	37
1.8.5 变电站和馈线的供电区域	38
1.8.6 供电区域的动态分配	38
1.9 系统论方法和双 Q 规划	40
1.9.1 双 Q 规划	42
1.9.2 双 Q 法是既可降低费用又可改进可靠性的技术	44
1.10 总结	46
1.10.1 输配电规划的三个基本要求	46
1.10.2 输配电的 6 个基本法则	47
1.10.3 多个层级的互联	47
1.10.4 离散的设备规格	48
1.10.5 有效的规划技巧：供电区域的动态分配	48
1.10.6 改造费用高于新建费用	48
1.10.7 峰荷是非同时发生的	48
1.10.8 损耗费用可能相当可观	48
1.10.9 实现可靠性目标的传统方法	49
1.10.10 实现可靠性目标的现代方法	49
参考文献	49

第 2 章 用户的用电需求及电力负荷 51

2.1 引言	51
2.1.1 电力的数量和质量是用户用电价值的两个重要方面	51
2.2 数量的需求：电力负荷	53
2.2.1 恒功率、恒电流以及恒阻抗负荷	53
2.2.2 终端用途模型与负荷电压特性模型的关系	56

2.2.3	暂态负荷特性	56
2.2.4	电能的终端用途	57
2.2.5	负荷曲线及其分析	57
2.2.6	负荷曲线的具体测量方法	59
2.2.7	负荷持续曲线	61
2.2.8	电力需求的空间分布	62
2.3	质量的需求：电能质量及供电质量	63
2.3.1	基于停电损失费用的供电质量评估	63
2.3.2	基于供电质量的整体价值规划	64
2.3.3	停电损失费用	65
2.3.4	电压骤降导致的短时停电	65
2.3.5	SEMI F47 标准	67
2.3.6	电压骤降的本质	68
2.3.7	停电频率和停电持续时间对费用的影响	69
2.3.8	事先通告可降低停电损失费用	71
2.3.9	不同用户类型的停电损失费用	71
2.3.10	不同供电区域的停电损失费用	72
2.3.11	同一用户类型中不同用户的停电损失费用	72
2.3.12	不同用电时段的停电损失费用	73
2.3.13	应用用户停电损失费用数据的推荐方法	74
2.3.14	电压涌流和谐波所导致的损失费用	74
2.3.15	用户可靠需求的终端用途模拟	75
2.4	市场分类和用电价值	77
2.4.1	费用为王	78
2.4.2	电价传统上仅由数量决定	79
2.4.3	提供可变的可靠性水平	80
2.5	双 Q 分析：数量、质量与费用的关系	81
2.5.1	基于双 Q 的规划和工程设计	83
2.6	总结	85
	参考文献	86
第 3 章	电力负荷的行为与同时性	88
3.1	引言	88
3.2	峰荷的同时性以及负荷曲线的特征	88
3.2.1	电器的占空比（电器工作时间的百分比）	90
3.2.2	多个负荷曲线的聚合形成负荷的同时性效应	90
3.2.3	空调和热泵负荷的占空比	91

3.2.4 负荷的同时性行为	92
3.2.5 同时性等效负荷曲线可视为单个居民负荷的数学期望值	96
3.3 负荷曲线的测量和模拟	97
3.3.1 对小规模用户组的用户负荷采样时需高采样率	100
3.3.2 采样率的确定	102
3.3.3 同时率与采样周期的估算	102
3.4 总结	103
参考文献	105
第4章 配电系统可靠性基础理论	106
4.1 引言	106
4.1.1 可靠性术语及定义	107
4.2 停运与停电的关系	110
4.2.1 停电频率和停电持续时间	110
4.2.2 停运的影响范围	110
4.2.3 停电类型	112
4.3 可靠性指标	114
4.3.1 负荷削减指标	117
4.3.2 可用性指标	118
4.3.3 可靠性指标的使用	118
4.3.4 基于可靠性指标的分析	119
4.4 不同电力企业可靠性指标的差异	120
4.4.1 可靠性指标统计方式的差异	121
4.4.2 停电持续时间估计的差异	122
4.4.3 可靠性目标设定的差异	123
4.5 可靠性的同业对比	123
4.5.1 同业对比研究的类型	123
4.5.2 同业对比研究的驱动力和目的	127
4.5.3 一次性“改进”计划	127
4.5.4 持续性改进计划	128
4.5.5 同业对比过程中的注意事项	130
4.6 总结	135
参考文献	137
第5章 经济学基础和费用评估	138
5.1 引言	138
5.2 费用	139
5.2.1 初始费用和持续费用	139

5.2.2	固定费用和可变费用	140
5.2.3	沉入费用	141
5.2.4	嵌入费用、边际费用和增量费用	142
5.2.5	收入需求	142
5.3	资金的时间价值	144
5.3.1	货币是贬值的	144
5.3.2	现值分析	145
5.3.3	现值系数和折扣率的确定方法	147
5.3.4	现值系数是一个决策工具	152
5.3.5	现值分析的例子	153
5.3.6	综合现值系数的例子	154
5.3.7	隐式现值系数	157
5.3.8	年平均费用	158
5.3.9	收益和成本的折算方法是相似的	161
5.4	费用的差异性	162
5.4.1	不同时段的费用	163
5.4.2	事故情况下的费用	164
5.4.3	电压等级对费用的影响	164
5.4.4	输配电费用的空间分布	166
5.4.5	费用的空间分布和综合资源规划	167
5.5	结论	168
	参考文献	170
第 6 章	规划方案的评估、优选和审批	171
6.1	引言	171
6.2	评估、比较、优选及审批	172
6.2.1	评估和比较	173
6.2.2	单属性比较和多属性比较	174
6.2.3	单属性规划	174
6.2.4	多属性规划	174
6.2.5	各种决策模式	179
6.3	传统电力企业的最小费用方法	181
6.3.1	受监管的电价、最小费用及严格的标准	181
6.3.2	应用实例	184
6.3.3	最小费用法的优势	186
6.3.4	新建项目的优选和审批	186
6.4	收益/成本比 (B/C) 方法	187

6.4.1	可选项目的评估和决策	187
6.4.2	改造和维修的示例	188
6.4.3	投资回收期	190
6.4.4	DSM 示例	191
6.4.5	电力企业规划流程中基于 B/C 的评估与优选	196
6.5	收益/成本增量比 (iB/C) 方法	197
6.5.1	处理定额预算的传统方法	198
6.5.2	iB/C 分析法	201
6.5.3	基于 iB/C 的比值进行优选	204
6.5.4	iB/C 是一种多属性决策过程	209
6.5.5	基于 iB/C 的定额预算规划	210
6.5.6	同时考虑两个及以上可靠性指标	214
6.5.7	在可靠性最优分析中增加运行和管理费用	215
6.5.8	在评估中考虑 DSM 或其他方案作为可选方案	216
6.5.9	iB/C 法的总结和重点	218
6.5.10	决策层的战略规划分析	221
6.5.11	基于 iB/C 法的资产管理策略	221
6.6	基于利润的规划模式	222
6.6.1	非电力企业的工业例子	223
6.6.2	馈线案例的利润分析	224
6.7	总结	225
6.7.1	评估、优选和选择：关键传动环节	226
6.7.2	传统的标准驱动与面向项目的最小费用法	226
6.7.3	传统模式的改进	228
6.7.4	基于 B/C 的评估和审批	228
6.7.5	基于回收期的 B/C 评估	229
6.7.6	iB/C 法、优选以及基于组合的审批	229
6.7.7	基于利润的规划模式	231
6.7.8	电力企业决策中不存在普遍的“真理”	231
6.7.9	不确定性和风险的宏观背景	232
	参考文献	234
第 7 章	设备的额定值、载荷水平、寿命及失效	235
7.1	引言	235
7.2	额定容量和使用寿命	235
7.2.1	额定容量的概念	236
7.2.2	载荷水平、额定值和使用寿命	236

7.2.3	负荷水平与寿命终结	237
7.2.4	电气设备的使用寿命及失效的概念模型	238
7.2.5	设备寿命的评价模式和标准	239
7.2.6	制定额定值的原因	240
7.2.7	负荷水平影响设备寿命的方式	241
7.2.8	周围环境温度对设备寿命的影响	242
7.2.9	动态负荷水平与设备寿命的关系	242
7.2.10	紧急负荷水平所导致的寿命损失	245
7.2.11	寿命损失表	246
7.2.12	周期性负荷水平与寿命的关系	247
7.2.13	绕组类设备的寿命与负荷水平的关系	250
7.3	设备的老化、劣化和损坏	250
7.3.1	设备寿命与终结性失效	252
7.3.2	劣化与损坏	252
7.3.3	设备磨损	253
7.3.4	外部因素所导致的损坏	255
7.3.5	老化和劣化的类型	256
7.4	提高设备可靠性和延长设备寿命的措施	265
7.4.1	更换陈旧设备	265
7.4.2	现有设备的改型	265
7.4.3	现有设备的改造	265
7.4.4	设备的大修	266
7.4.5	重点检修和一般检修	266
7.4.6	例行检查和维修	266
7.4.7	检查	267
7.4.8	状态评估	267
7.4.9	降低额定值以延长剩余寿命	267
7.5	总结	269
	参考文献	273
第8章	设备失效与系统性能	274
8.1	引言	274
8.2	设备的失效率随着设备年限的增加而增大	274
8.2.1	失效、失效率及寿命	274
8.2.2	设备失效概率的定量分析	275
8.2.3	失效率总是随时间的推移而上升	276
8.2.4	失效发生时间的预测	278

8.3	电力系统设备的失效和年限	280
8.3.1	例 1: 失效率上升的形式及对设备的影响	280
8.3.2	例 2: 一个实际的案例	283
8.3.3	其他例子	285
8.3.4	设备更换政策的分析	286
8.4	总结	287
	参考文献	289
第 9 章	载荷供电距离和电压无功工程	290
9.1	引言	290
9.2	配电系统的电压特性	291
9.2.1	导线截面逐级缩小配置与电压降	292
9.2.2	R 、 X 及它们的比值	296
9.2.3	以“电压不变”的原则设计电力系统	297
9.2.4	电压调整和闪变标准	298
9.3	载荷供电距离和配电容量	298
9.3.1	载荷供电距离	298
9.3.2	载荷供电距离是馈线系统设计的一种有效工具	303
9.3.3	载荷供电距离和 K 因子的比较	305
9.3.4	载荷供电距离术语	306
9.4	基于系统论对载荷供电距离、电流和电压性能进行优化	306
9.4.1	导线的经济截面选择	307
9.4.2	经济载荷供电距离	307
9.4.3	电流和电压性能的优化	308
9.5	配电系统电压降管理	309
9.5.1	馈线负荷的均衡化	311
9.5.2	馈线结构的灵活应用	312
9.5.3	增大截面或增加相数	315
9.5.4	缩小相间距	316
9.5.5	并联电容器	317
9.5.6	串联电容器	317
9.5.7	分布式发电	318
9.5.8	电力电子技术	318
9.5.9	储能装置	319
9.6	电压无功控制及补偿	319
9.6.1	无功功率产生的原因	319
9.6.2	无功功率对馈线系统经济性的影响	320

9.6.3	功率因数和 X/R 比	321
9.6.4	并联电容器的应用	321
9.6.5	电容器的影响	322
9.6.6	电容器配置的 2/3 原则	323
9.6.7	负荷不均匀分布时电容器的应用问题	325
9.6.8	基于 2/3 原则的一般导则	327
9.6.9	电容器配置的实用导则	327
9.6.10	2/3 原则的优缺点	329
9.6.11	可投切电容器的实际应用	331
9.6.12	电容器和功率因数的战略规划	336
9.6.13	电压调节装置	338
9.7	总结	338
	参考文献	340
第 10 章	分布式资源	341
10.1	引言	341
10.1.1	负功率的计量	341
10.1.2	明确电量减少和峰荷降低的受益者	342
10.2	电能和需求的管理方法	342
10.2.1	名目不同,本质相同	343
10.2.2	电能管理方法的基本形式	344
10.3	降压节能	369
10.3.1	电力系统降压的相关事宜	370
10.3.2	降压节能措施只有短期效应	372
10.3.3	降压节能后的占空比反弹	372
10.3.4	降压节能措施的实际节能效果	373
10.3.5	降压节能可作为一种削峰方法	374
10.3.6	实施降压节能计划的费用	375
10.3.7	基于电力企业的立场评价降压节能计划	376
10.4	分布式发电	377
10.4.1	燃料发电的三种方式	377
10.4.2	分布式发电的容量范围	377
10.4.3	卡诺循环	378
10.4.4	燃料效率与热耗率曲线	379
10.4.5	往复式活塞内燃发动机驱动的分布式发电机组	379
10.4.6	燃气轮机驱动的分布式发电机组	382
10.4.7	利用燃料电池的分布式发电	384

10.4.8 利用余热的热电联产和冷热电联供 385

10.4.9 可再生能源：水能、风能和太阳能 385

10.5 电能储存系统..... 388

10.5.1 稳定电力供应 389

10.5.2 保证停机时的电力供应 391

10.5.3 增强分布式发电的可调度性 392

10.5.4 储能装置的性能协调 392

10.6 分布式资源的成本效益评估..... 394

10.6.1 传统体制下的需求侧管理评估框架 394

10.6.2 分布式资源的成本效益评估 396

10.6.3 四种费用类型 396

10.6.4 初始费用和持续费用评估 398

10.6.5 成本和发电量均需折现 400

10.7 总结..... 402

参考文献..... 404

中 册

规 划 篇

第 11 章 导线和变压器选型的基本经济性分析 407

11.1 引言..... 407

11.2 配电线路..... 407

11.2.1 线路类型 408

11.2.2 电缆线路 408

11.2.3 三相、两相和单相制的电力系统元件 410

11.2.4 采用三相线路的配电系统布局方式 413

11.2.5 “美式”和“欧式”供电层布局方式 413

11.2.6 线路的性能和经济性 415

11.2.7 线路的阻抗、压降和线损 416

11.3 变压器..... 417

11.3.1 变压器可以改变输电的规模经济性 417

11.3.2 变压器类型 417

11.3.3 配电变压器 417

11.3.4 电力变压器或变电站变压器 419

11.3.5	特种变压器	421
11.3.6	变压器的额定值及特性	422
11.3.7	三个额定值的命名法	424
11.4	设备选型的基本经济性分析	425
11.4.1	导线截面的选择方法	425
11.4.2	两种以上选择方案的评估	426
11.4.3	负荷增长对导线选型的影响	429
11.4.4	更换现有线路	429
11.4.5	可变费用的线性化	432
11.4.6	地下电缆的经济性	432
11.4.7	变压器容量选择的经济性分析	433
11.4.8	电力变压器的容量选择	434
11.5	总结	436
	参考文献	437
第 12 章	导线和变压器型号系列的选择	438
12.1	引言	438
12.1.1	负荷经济性与供电距离的平衡	438
12.1.2	负荷供电距离及其效益	439
12.1.3	实际应用中满足配电系统各种约束的方法	442
12.2	有效利用经济负荷范围和压降的方法	442
12.2.1	满足基本要求的方法	442
12.2.2	电压等级和负荷供电距离的关系	443
12.2.3	经济负荷范围内的压降	444
12.2.4	相同负荷供电距离下载荷范围的调整	445
12.3	导线截面系列的经济性和性能	448
12.3.1	导线截面系列经济性的模型	448
12.3.2	不同电压等级的影响	450
12.3.3	经济负荷供电距离与系统中压电压等级的关系	452
12.3.4	基于“经济负荷范围和负荷供电距离”推荐表的馈线特性	454
12.3.5	超过经济负荷供电距离的导线截面系列选择方法	455
12.4	导线截面系列设计考虑的基本要素	456
12.4.1	导线存量设计的常见问题	458
12.4.2	紧急负荷供电距离所考虑的问题	461
12.4.3	导线截面系列设计的要点总结	463
12.5	导线截面系列设计的推荐方法	464
12.5.1	分析中应包含所有费用	464

12.5.2	确定对现有线路升级的导线截面	464
12.5.3	确定导线截面系列中导线截面的数量	465
12.5.4	确定导线经济性和导线截面系列的方法	465
12.5.5	提供完整的导线截面设计表	467
12.6	变压器标准容量系列设计的推荐方法	467
12.6.1	变电站和电力变压器	468
12.7	总结	468
	参考文献	470
第 13 章	单条馈线的布局	471
13.1	引言	471
13.2	馈线系统	471
13.2.1	任务和目的	471
13.2.2	变电站和馈线	472
13.2.3	辐射状、环状和网状馈线系统	477
13.2.4	“一般地区”、“城市地区”和“农村地区”的馈线类型	479
13.3	辐射状和环状馈线系统布局	487
13.3.1	设计中的灵活性	488
13.3.2	通过灵活性设计来满足非费用因素	491
13.4	双电压馈线系统	493
13.4.1	欧洲的双电压环状馈线系统	493
13.4.2	双电压辐射状馈线	494
13.4.3	双电压馈线的经济性	495
13.5	总结	498
	参考文献	499
第 14 章	馈线的布局及切换策略与可靠性的关系	500
14.1	引言	500
14.1.1	本章重点：馈线布局方式及其与可靠性的相互作用	501
14.1.2	关注可靠性	501
14.1.3	馈线系统及其可靠性	502
14.1.4	确定切换策略和分段方式——控制复杂性和费用	506
14.2	中压（MV）馈线层的可靠性设计	510
14.2.1	隔离故障和处理停运的观点	510
14.2.2	分段方式和切换策略	510
14.2.3	分段与切换的规划所涉及的四个方面	512
14.2.4	总体规划过程	513
14.2.5	四个方面与供电可靠性之间的相互影响	513

14.2.6	满足可靠性所需的费用	516
14.3	馈线系统的转供能力	517
14.3.1	变电站层的转供能力需满足大部分负荷的需求	517
14.3.2	馈线转供能力的价值	518
14.3.3	馈线系统转供能力及其对可靠性和费用的影响	519
14.3.4	成本—效益是真正的核心问题	520
14.4	基于预想事故的规划与基于可靠性的规划	520
14.4.1	基于预想事故的规划	521
14.4.2	基于可靠性的规划	524
14.4.3	基于预想事故法和基于可靠性法对规划人员的影响	528
14.5	事故支持和切换策略的设计	529
14.5.1	由同一个变电站提供备用电源	530
14.5.2	可切换的事故支持分区方法	534
14.5.3	为完全转供选择开关位置	538
14.5.4	复杂的多分区切换具有自身的成本	542
14.5.5	支持变电站主变停运的馈线规划方案	543
14.5.6	支持变电站全停的馈线规划方案	544
14.5.7	切换时间、SAIDI 与分区复杂性的关系	546
14.5.8	可靠性相同时费用是关键	547
14.5.9	没有通用的费用、可靠性及馈线设计导则	548
14.6	馈线系统的保护和分段	548
14.6.1	保护配置的基本需求	549
14.6.2	与配电系统保护有关的设备	550
14.6.3	时间—电流 (TC) 曲线	552
14.6.4	保护的协调	553
14.6.5	基于线路分段的保护配置	554
14.6.6	增加分段装置以提高可靠性	556
14.6.7	重合器—分段开关的配合方案	558
14.6.8	保护及线路分段是一门复杂的艺术和科学	562
14.6.9	网络结构和与保护配合的相互作用	563
14.6.10	分段设备的效率和成本效益分析	564
14.6.11	分段方式和切换策略的配合及相互作用	568
14.6.12	熔断器和切换策略的优化及相互作用	570
14.6.13	网络结构与线路分段的相互作用	571
14.7	总结	575
	参考文献	577

第 15 章 多条馈线的布局	578
15.1 引言	578
15.1.1 系统论的观点：馈线仅是整个系统的一部分	578
15.2 确定变电站供电范围内馈线的条数	579
15.2.1 传统馈线规划的观点（通常不宜）	579
15.2.2 规划时应该同时考虑多条而不仅是单条馈线	581
15.2.3 确定馈线的条数	582
15.3 现代馈线系统规划的观点	583
15.3.1 避免每次只规划一条馈线的短视行为	586
15.3.2 应协调变电站层和馈线层的设计标准	586
15.3.3 规划总是从导线经济截面系列的选择开始	586
15.3.4 应协调事故支持策略	586
15.3.5 采用产生良好效果的回溯规划法	587
15.3.6 应尽量使用非矩形路径	588
15.4 适应负荷增长的规划	589
15.4.1 负荷预测	589
15.4.2 为向“新区”的新增负荷供电而进行扩展规划	592
15.4.3 馈线分解法	592
15.4.4 负荷增长不确定性风险的最小化	594
15.5 馈线系统费用的估算公式	596
15.5.1 减少所规划馈线的费用	597
15.6 总结	600
15.6.1 馈线系统应具有足够的流动性	600
15.6.2 规划高效馈线系统的步骤	600
参考文献	602
第 16 章 变电站（HV/MV）的配置	604
16.1 引言	604
16.1.1 标准和设计之间的兼容性是关键	605
16.1.2 变电站的四个基本部分	605
16.2 变电站高压侧设备和配置	606
16.2.1 输电和配电结合部的变电站	606
16.2.2 高压配电的线路及电压等级	607
16.2.3 高压侧接线方式和供电可靠性	612
16.2.4 变电站高压侧的显著特征	615
16.3 变电站的变压器部分	616
16.3.1 变压器的类型	616