



国际电气工程先进技术译丛

Mc  
Graw  
Hill  
Education

# 电力计算手册

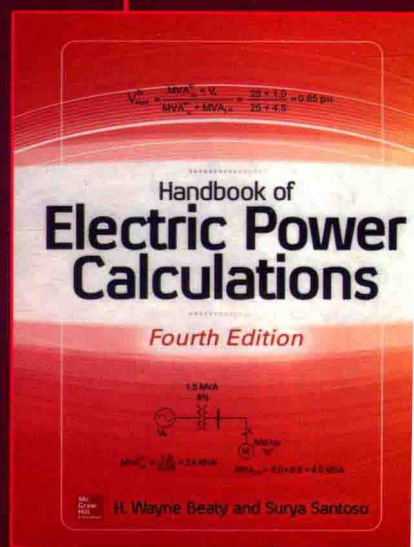
(原书第4版)

**Handbook of Electric Power Calculations**  
**(Fourth Edition)**

[美] H. 韦恩·比特 (H.Wayne Beaty) 主编  
苏亚·桑托索 (Surya Santoso)

衣涛 张庚午 王承民 王艳杰 译

 **机械工业出版社**  
CHINA MACHINE PRESS



国际电气工程先进技术译丛

# 电力计算手册

(原书第4版)

Handbook of Electric Power Calculations (Fourth Edition)

[美] H. 韦恩·比特 (H. Wayne Beaty) 主编  
苏亚·桑托索 (Surya Santoso)

衣 涛 张庚午 王承民 王艳杰 译



机械工业出版社

本书是一本关于电力工程的计算手册，风格以实用为主，包含了大量的算例和详尽的解算过程。全书共 24 章，分别是基础网络分析、测量仪表、直流电动机和发电机、变压器、三相感应电动机、单相电动机、同步电机、电力生产、架空输电线路和地理电缆、电力网络、电力系统潮流分析、电力系统控制、短路计算、系统接地、电力系统保护、电力系统稳定、热电联产、固定型电池、电力能源经济模型、照明设计、电力电子、可再生能源、电能质量、智能电网。

本书可作为从事电力系统设计、研究和分析的工程师和研究人员的参考书，对高等院校电力系统专业的本科生和研究生也有较高的参考价值。

H. Wayne Beaty, Surya Santoso

Handbook of Electric Power Calculations (Fourth Edition)

978-0-07-182390-6

Copyright © 2015 by McGraw-Hill Education.

All Rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including without limitation photocopying, recording, taping, or any database, information or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

This authorized Chinese translation edition is jointly published by McGraw-Hill Education and China Machine Press. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan.

Copyright © 2019 by McGraw-Hill Education and China Machine Press.

版权所有。未经出版人事先书面许可，对本出版物的任何部分不得以任何方式或途径复制或传播，包括但不限于复印、录制、录音，或通过任何数据库、信息或可检索的系统。

本授权中文简体字翻译版由麦格劳-希尔（亚洲）教育出版公司和机械工业出版社合作出版。此版本经授权仅限在中华人民共和国境内（不包括香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾）销售。

版权 © 2019 由麦格劳-希尔（亚洲）教育出版公司与机械工业出版社所有。

本书封面贴有 McGraw-Hill Education 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：01-2015-7594 号。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

电力计算手册：原书第 4 版/(美) H. 韦恩·比特 (H. Wayne Beaty) 等主编；衣涛等译。—北京：机械工业出版社，2019.3

(国际电气工程先进技术译丛)

书名原文：Handbook of Electric Power Calculations (Fourth Edition)

ISBN 978-7-111-62292-5

I. ①电… II. ①H…②衣… III. ①电力系统计算—手册 IV. ①TM744-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 050142 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑：赵玲丽 责任编辑：赵玲丽

责任校对：樊钟英 封面设计：马精明 责 任 制：张 博

北京铭成印刷有限公司印刷

2019 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 35 印张 · 869 千字

0001—1900 册

标准书号：ISBN 978-7-111-62292-5

定价：180.00 元

电话服务

客服电话：010-88361066

010-88379833

010-68326294

封底无防伪标均为盗版

网络服务

机 工 官 网：www.cmpbook.com

机 工 官 博：weibo.com/cmp1952

金 书 网：www.golden-book.com

机工教育服务网：www.cmpedu.com

# 译 者 序

随着电力系统的规模不断扩大、新能源大规模接入、储能装置的应用以及多种新型电力电子设备的使用，电力系统的运行呈现出新特点，分析计算也变得更加复杂。电力行业的学者和工程技术人员迫切需要一本能够涵盖上述特性的电力计算参考书籍。

《电力计算手册（原书第4版）》经过全面修订，新增了电力电子、可再生能源、电能质量和智能电网等几个部分。本书包括了目前最新的电力工程技术所需计算内容，提供了详细的电气工程计算步骤。每一章内容都按照问题的提出、计算过程、图表显示结果的流程来进行阐述，这种简单的表达方式极大地增强了工程师或技术人员对手册的理解和使用。

本书可作为从事电力系统设计、研究和分析的工程师和研究人员的参考书，对高等院校电力系统专业的本科生和研究生也有较高的参考价值。

本书由衣涛承担第1、2、4、6、13~20章的翻译工作，张庚午承担第3、5、7~9章的翻译工作，王承民承担第10、22、23章的翻译工作，王艳杰承担第11、12、21、24章的翻译工作。全书由王艳杰统稿。

译者在翻译过程中力求严谨、专业，但是由于译者水平有限，时间仓促，难免有错误和不当之处，欢迎广大读者提出宝贵意见。

译 者

# 原书前言

本手册提供了电气工程中常见的详细计算步骤，涉及的主题非常广泛，每个主题均由相关领域的权威人士撰写，内容以实用性为主，很少强调理论知识。

全书 24 章的每一节都遵循以下方式：

- 1) 问题表述；
- 2) 计算步骤；
- 3) 用以说明计算步骤的图表；
- 4) 采用了国际单位 (SI) 和美制单位 (USCS)。

这种简单而全面的方式极大地提高了本手册对工程师或技术人员的实用性。本书大部分问题的求解采用算术和代数方法，每章也给出了相关的参考文献或参考书目。

# 目 录

译者序

原书前言

第1章 基础网络分析	1
1.1 直流串并联网络分析	1
1.2 直流网络的支路电流分析法	5
1.3 直流网络的网孔分析法	6
1.4 直流网络的节点分析法	7
1.5 利用叠加定理求解直流网络	8
1.6 利用戴维南定理求解直流网络	9
1.7 利用诺顿定理求解直流网络	10
1.8 平衡的直流桥网络	11
1.9 不平衡的直流桥网络	12
1.10 正弦波分析	13
1.11 方波分析	14
1.12 偏移波分析	15
1.13 由直流电压源和交流电压源串联组成的非正弦输入的电路响应	16
1.14 串联 $RLC$ 电路的交流稳态分析	17
1.15 并联 $RLC$ 电路的交流稳态分析	18
1.16 交流串并联网络分析	20
1.17 交流电路的功率分析	21
1.18 有功功率因数和无功功率因数分析	22
1.19 功率因数校正	23
1.20 交流电路的最大传输功率	24
1.21 平衡 $Y$ - $Y$ 联结系统分析	25
1.22 平衡 $\Delta$ - $\Delta$ 联结系统分析	26
1.23 积分电路对方波的响应	28
1.24 参考文献	29
第2章 测量仪表	30
2.1 简介	30
2.2 电压测量	30
2.3 电流测量	32
2.4 利用单相功率表进行功率测量	34
2.5 利用三相功率表进行功率测量	36

2.6	无功功率测量	37
2.7	有功功率因数测量	38
2.8	电能计量	38
2.9	电力最大需量测量	39
2.10	非电量测量	40
2.11	参考文献	40
<b>第3章</b>	<b>直流电动机和发电机</b>	<b>41</b>
3.1	用于转速和电压测量的直流测速发电机	41
3.2	从空载饱和曲线获得他励直流发电机的额定工况	41
3.3	复励直流发电机的输出条件计算	43
3.4	直流发电机中产生平复励的串励增磁计算	44
3.5	直流发电机中间极绕组的计算	45
3.6	直流电机补偿绕组的设计	46
3.7	自励直流发电机定子绕组和电枢绕组的电阻计算	48
3.8	并励直流发电机的效率计算	48
3.9	他励直流电动机的转矩和效率计算	49
3.10	并励直流电动机手动起动器的设计	51
3.11	选择直流电动机时在工作周期上的考虑	52
3.12	并励直流电动机电枢反应的计算	54
3.13	他励直流电动机动力制动	55
3.14	直流电动机的三相晶闸管整流器 (SCR) 驱动	56
3.15	根据电枢电流、空载饱和曲线确定并励直流电动机转速	58
3.16	直流电动机的斩波驱动	59
3.17	并励直流电动机反电动势自动起动器的设计	60
3.18	参考文献	61
<b>第4章</b>	<b>变压器</b>	<b>62</b>
4.1	变压器电压比分析	62
4.2	升压变压器分析	62
4.3	变压器带载分析	63
4.4	阻抗匹配变压器的选择	64
4.5	多绕组变压器的性能	64
4.6	三绕组变压器的阻抗变换	65
4.7	二次侧有抽头的变压器的选择	66
4.8	变压器特性与性能	66
4.9	带感性负载的变压器性能分析	67
4.10	带容性负载的变压器性能分析	69
4.11	变压器电压调整率的计算	70
4.12	变压器效率的计算	70

4.13	变压器最大运行效率分析 .....	71
4.14	全天效率计算 .....	72
4.15	带周期性负载的变压器的选择 .....	72
4.16	短路状态下的变压器分析 .....	73
4.17	利用开路及短路实验计算变压器等效电路参数 .....	73
4.18	升压自耦变压器的性能 (降/升压变压器运行在升压模式) .....	75
4.19	D-Y 联结的三相变压器组作为发电机升压变压器的分析 .....	76
4.20	开口 D-d 联结系统的性能 .....	77
4.21	Scott 接线系统分析 .....	78
4.22	参考文献 .....	79
<b>第 5 章</b>	<b>三相感应电动机 .....</b>	<b>80</b>
5.1	简介 .....	80
5.2	等效电路 .....	80
5.3	等效电路参数的计算 .....	81
5.4	性能特征 .....	82
5.5	反向制动 .....	85
5.6	制动 .....	87
5.7	自耦变压器起动 .....	90
5.8	串电阻起动 .....	91
5.9	串电抗起动 .....	93
5.10	串并联起动 .....	94
5.11	多级起动 .....	94
5.12	转速控制 .....	96
5.13	线电压控制 .....	96
5.14	频率控制 .....	97
5.15	电动机起动及转速控制选择 .....	98
5.16	恒负载电动机的选择 .....	101
5.17	变化负载电动机的选择 .....	102
5.18	参考文献 .....	104
<b>第 6 章</b>	<b>单相电动机 .....</b>	<b>105</b>
6.1	根据空载试验和堵转试验确定单相感应电动机等效电路 .....	105
6.2	单相感应电动机的转矩和效率计算 .....	106
6.3	根据单相感应电动机等效电路确定输入条件和内部产生的功率 .....	108
6.4	根据单相感应电动机近似等效电路计算输入条件和内部产生的功率 .....	109
6.5	根据单相感应电动机等效电路计算损耗和效率 .....	111
6.6	电容电动机起动转矩计算 .....	112
6.7	电阻起动分相电动机的起动转矩 .....	113
6.8	隐极电动机的损耗及效率 .....	114

6.9	磁阻电动机的同步转速及产生的转矩 .....	116
6.10	磁阻电动机平均机械功率的最大值 .....	117
6.11	小功率电动机最大转矩—转速关系 .....	119
6.12	推斥电动机励磁绕组及电枢绕组设计 .....	120
6.13	通用电动机的机械功率及交/直流转矩比较 .....	122
6.14	单相串励电动机 (通用) 等效电路以及相量图 .....	123
6.15	参考文献 .....	125
<b>第7章</b>	<b>同步电机</b> .....	<b>126</b>
7.1	标么制的基准值 .....	126
7.2	$d$ 轴电抗标么值 .....	127
7.3	$q$ 轴电抗标么值 .....	128
7.4	开路时间常数标么值 .....	129
7.5	短路时间常数标么值 .....	129
7.6	稳态相量图 .....	130
7.7	发电机容量曲线 .....	131
7.8	发电调整 .....	133
7.9	发电机短路比 .....	134
7.10	输出的有功功率和功率因数 .....	135
7.11	发电机的发电效率 .....	135
7.12	同步功率系数 .....	137
7.13	发电机接地变压器和电阻 .....	137
7.14	功率因数的改善 .....	138
7.15	参考文献 .....	139
<b>第8章</b>	<b>电力生产</b> .....	<b>140</b>
8.1	主要参数的确定 .....	140
8.2	电力发电机组优化 .....	145
8.3	年容量因子 .....	149
8.4	年固定费率 .....	149
8.5	燃料成本 .....	150
8.6	平均净热耗率 .....	151
8.7	筛选曲线的构建 .....	151
8.8	不同时和同时最大预测年负荷 .....	154
8.9	必要的备用容量裕度规划 .....	154
8.10	商业可用的系统额定容量 .....	157
8.11	水力发电站 .....	158
8.12	发电厂扩建规划中使用的大型机组和电厂的额定值 .....	159
8.13	发电系统扩展计划的备选方案 .....	159
8.14	安装机组的发电机额定容量 .....	162

8.15	优化电厂设计	163
8.16	年运行与维护成本相对于安装资金成本	163
8.17	热耗率与投资成本和/或年运行与维护成本	164
8.18	替代燃料成本	168
8.19	容量惩罚	170
8.20	参考文献	171
<b>第9章</b>	<b>架空输电线路和地理电缆</b>	<b>172</b>
9.1	简介	172
9.2	导体电阻	172
9.3	单根导体输电线路电感	173
9.4	两线输电线路电感	174
9.5	两线输电线路感抗	174
9.6	多股绞线输电线路电感	175
9.7	三相输电线路电感	175
9.8	三相线路的单相感抗	176
9.9	多导线输电线路的电感	176
9.10	多导线输电线路的感抗	177
9.11	分裂输电线路的感抗	178
9.12	查表法计算感抗	179
9.13	互感磁链的影响	181
9.14	考虑大地回路修正项的多导线输电线路的感抗	181
9.15	三相输电线路感性序阻抗	183
9.16	管道或者沟渠中电缆的感抗	184
9.17	计及大地回路修正项的多芯地理电缆感抗	186
9.18	三相地理电缆的感性序阻抗	190
9.19	输电线路的充电电流和容性无功功率	190
9.20	两线输电线路的电容	191
9.21	两线输电线路的容抗	192
9.22	三相输电线路的电容	192
9.23	三相输电线路的单相容抗	193
9.24	多导线输电线路的容性电纳	193
9.25	三相输电线路容性序电纳	194
9.26	与地理电缆相关的容性电纳	195
9.27	有功功率-频率特性研究用输电线路模型	196
9.28	有功功率-频率特性研究用中等长度输电线路模型	196
9.29	有功功率-频率特性研究用长输电线路模型	197
9.30	复功率	198
9.31	波阻抗负荷	199

9.32	参考文献	199
<b>第10章</b>	<b>电力网络</b>	<b>201</b>
10.1	电力系统表示方法: 发电机、电动机、变压器和线路	201
10.2	求解三相问题的标幺制	202
10.3	三相短路计算的标幺基准值	204
10.4	改变标幺量的基准值	206
10.5	Y-d 和 D-y 转换	206
10.6	三绕组变压器的标幺电抗	208
10.7	复功率计算	209
10.8	利用灯泡检测电压相序	210
10.9	三相平衡系统的总功率	212
10.10	并联变压器之间的负载分配	213
10.11	Y-d 变压器组的相位移	214
10.12	有功功率、无功功率、视在功率以及功率因数的计算	216
10.13	功率图	217
10.14	利用静态电容器改善功率因数	218
10.15	利用三相同步电动机改善功率因数	219
10.16	双绕组变压器连接为自耦变压器的功率计算	220
10.17	两表法测量三相负载功率	221
10.18	开口三角形变压器的运行	222
10.19	三相电动机与平衡三角形联结负载并列运行时的有功功率和无功功率	224
10.20	参考文献	225
<b>第11章</b>	<b>电力系统潮流分析</b>	<b>226</b>
11.1	简介	226
11.2	术语	226
11.3	潮流方程的推导	227
11.4	电力系统潮流计算	230
11.5	利用高斯-赛德尔法进行电力系统潮流求解	231
11.6	高斯-赛德尔法潮流计算示例	233
11.7	牛顿-拉夫逊法 (N-R) 进行潮流计算	237
11.8	应用 N-R 法求解电力系统潮流方程	239
11.9	牛顿-拉夫逊法 (N-R) 求解示例	240
11.10	利用快速解耦 (F-D) 法进行电力系统潮流计算	244
11.11	快速解耦法求解示例	245
11.12	结束语	246
11.13	参考文献	247
<b>第12章</b>	<b>电力系统控制</b>	<b>248</b>
12.1	简介	248

12.2	电力系统控制	248
12.3	电力系统控制的目的	249
12.4	控制手段的分类	253
12.5	正常运行方式下控制设计的假设	254
12.6	在管制电力工业中的分层控制	254
12.7	在电力工业变化中的电力系统控制	257
12.8	结论	258
12.9	参考文献	258
<b>第 13 章</b>	<b>短路计算</b>	<b>259</b>
13.1	由短路试验确定变压器电压调整	259
13.2	单相变压器满负荷时端电压计算	260
13.3	三相平衡电路的电压及电流计算	261
13.4	三相短路电流计算	262
13.5	次暂态、暂态及同步短路电流	264
13.6	不平衡三相电路功率	266
13.7	序分量的计算	267
13.8	相量运算符 $j$ 及 $a$ 的性质	269
13.9	利用序分量计算复功率	270
13.10	不同相序的电抗及阻抗	271
13.11	两相短路计算	272
13.12	发电机、变压器及输电线路的零序电抗	274
13.13	单相接地短路计算	275
13.14	电动机提供的次暂态电流和断路器的选择	277
13.15	感应电动机的起动电流	278
13.16	感应电动机的短路电流	279
13.17	利用矩阵方程及矩阵转置计算母线电压	280
13.18	输电线潮流和 $ABCD$ 常数	282
13.19	参考文献	283
<b>第 14 章</b>	<b>系统接地</b>	<b>284</b>
14.1	接地的目的	284
14.2	定义	285
14.3	基本计算过程	286
14.4	背景	287
14.5	接地电极垂直电极电阻的估算	292
14.6	复杂接地电极系统电阻/阻抗估算	300
14.7	电极系统(接地网)地电位上升估算	303
14.8	结论	304
14.9	计算机建模软件	305

14.10	参考文献	305
<b>第15章</b>	<b>电力系统保护</b>	<b>307</b>
15.1	简介	307
15.2	电流互感器的连接和尺寸	307
15.3	辐射型配电网的带时限过电流保护	311
15.4	差动保护	317
15.5	阶段式距离保护	319
15.6	小型电动机保护	321
15.7	数字保护基础	323
15.8	先进的数字通信	329
15.9	总结	331
15.10	参考文献	331
<b>第16章</b>	<b>电力系统稳定</b>	<b>333</b>
16.1	简介	333
16.2	动态建模及仿真	333
16.3	暂态稳定分析	339
16.4	单机无穷大系统仿真示例	341
16.5	程序自动化	345
16.6	暂态稳定设计准则的选择	345
16.7	暂态稳定辅助措施	350
16.8	低频减载方案的选择	353
16.9	稳态稳定性分析	354
16.10	电压稳定性分析	355
16.11	大规模动态仿真数据的准备	357
16.12	励磁及发电机模型的验证	360
16.13	直接数据驱动的稳定性分析	365
16.14	参考文献	367
<b>第17章</b>	<b>热电联产</b>	<b>368</b>
17.1	简介	368
17.2	汽轮机级的功率输出	369
17.3	发电机和机械损耗	371
17.4	锅炉给水泵和冷凝水泵的功率损耗	373
17.5	总功率和净功率输出	374
17.6	热耗和燃料消耗	374
17.7	热耗率	375
17.8	给水加热器的热平衡	375
17.9	基于燃气轮机的热电厂	376
17.10	热电联产模式中燃气轮机的输出和热耗率	377

17.11	STCP 和 GTCP 的比较分析 .....	378
17.12	参考文献 .....	381
<b>第 18 章</b>	<b>固定型电池 .....</b>	<b>382</b>
18.1	电池的选择 .....	382
18.2	额定容量 .....	384
18.3	C 率 .....	385
18.4	直流系统电池放电终止电压计算 .....	387
18.5	确定电池容量的方法——恒电流法 .....	387
18.6	确定电池容量的方法——恒功率法 .....	388
18.7	恒功率负载电流的确定 .....	388
18.8	正极板数量 .....	389
18.9	放电特性 .....	389
18.10	Fan 曲线的使用 .....	390
18.11	S 曲线的使用 .....	393
18.12	K 因子的使用 .....	395
18.13	电压下降——镍镉电池浮充 .....	396
18.14	48V 系统电池数量 .....	396
18.15	125V 及 250V 直流系统电池单元数量 .....	397
18.16	镍铬电池单元的选择 .....	397
18.17	负载曲线 .....	397
18.18	随机负载曲线 .....	400
18.19	第一分钟内负载 .....	401
18.20	单一负载曲线电池容量 .....	402
18.21	多负载曲线电池容量设计 .....	403
18.22	安时容量 .....	405
18.23	恒功率法进行电池容量计算 .....	406
18.24	电池短路电流的计算 .....	407
18.25	充电器容量 .....	409
18.26	镍镉电池充电——恒电流法 .....	409
18.27	温度和海拔对充电器的影响 .....	410
18.28	电解质的硫酸 ( $H_2SO_4$ ) 含量计算 .....	411
18.29	参考文献 .....	412
<b>第 19 章</b>	<b>电力能源经济模型 .....</b>	<b>414</b>
19.1	自由贸易和公平交易 .....	414
19.2	经济增长模型 .....	416
19.3	规模经济 .....	417
19.4	公司内部的竞争 .....	420
19.5	经济调度 .....	422

19.6	可避免费用	427
19.7	独立系统运行	429
19.8	微电网内的竞争处理	430
19.9	利率的制定	433
19.10	服务分类成本	434
19.11	费率设计	435
19.12	分时费率	437
19.13	燃料调整条款	438
19.14	分布式发电自由交易定价	438
19.15	参考文献	440
<b>第20章</b>	<b>照明设计</b>	<b>441</b>
20.1	简介	441
20.2	平均照度	441
20.3	点照度	442
20.4	工业区域室内照明系统设计	451
20.5	户外照明设计	453
20.6	道路照明系统	457
20.7	参考文献	460
<b>第21章</b>	<b>电力电子</b>	<b>461</b>
21.1	简介	461
21.2	术语	461
21.3	电力电子开关	462
21.4	DC-DC 转换	469
21.5	AC-DC 转换	479
21.6	DC-AC 转换	488
21.7	参考文献	492
<b>第22章</b>	<b>可再生能源</b>	<b>493</b>
22.1	简介	493
22.2	风力发电	493
22.3	太阳能发电	496
22.4	不确定性分析	501
22.5	可再生能源规划及投资	503
22.6	参考文献	506
<b>第23章</b>	<b>电能质量</b>	<b>507</b>
23.1	简介	507
23.2	电压暂降分析	508
23.3	电压暂升	518

23.4	电磁暂态现象	524
23.5	电力系统谐波	530
23.6	参考文献	540
<b>第24章</b>	<b>智能电网</b>	<b>541</b>
24.1	智能电网的定义	541
24.2	智能电网的目标	542
24.3	相关计算	542
24.4	参考文献	544

# 第 1 章 基础网络分析

Om Malik, ph. D., P. E.

Professor Emeritus Department of ECE University of Calgary

## 1.1 直流串并联网络分析

图 1.1 所示为包含了 19 个电阻的直流 (DC) 电路 (网络), 下面计算此电路中每个电阻上流过的电流及电阻上的电压降。

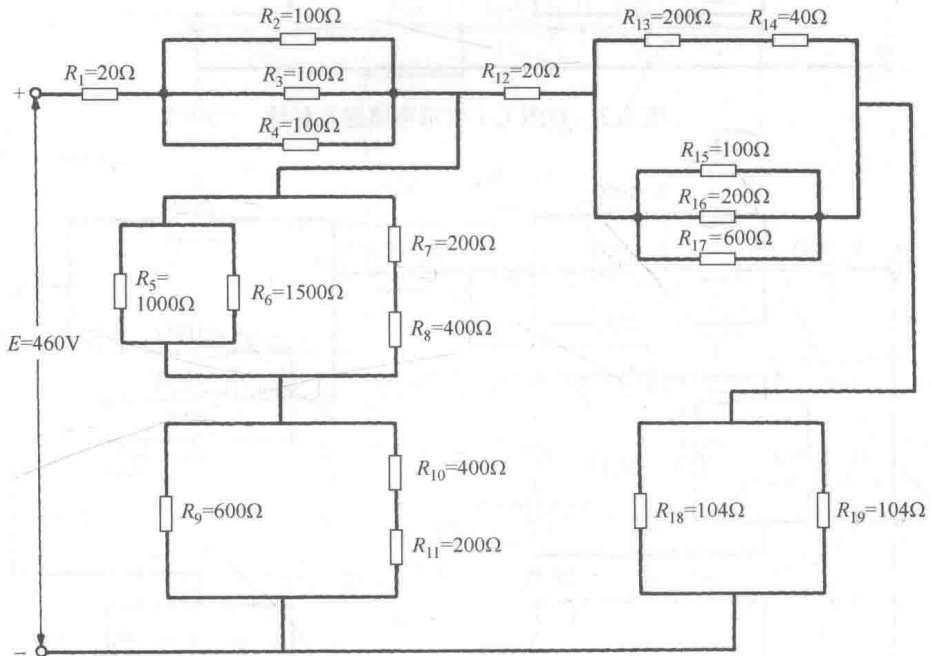


图 1.1 用于电路分析的一个串并联电路

### 计算过程

#### 1. 电路标注

对电路中的所有部分进行标注。对每个电阻上流过的电流方向进行标注 (如图 1.2 所示)。电路的等效电阻可以通过电阻串并联公式计算得到。

#### 2. 合并所有的串联电阻

在串联电路中, 从电源看进去总的等效电阻  $R_{EQS}$  等于各电阻之和:  $R_{EQS} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_N$ 。

如图 1.3 所示, 计算 DE、CG 及 GF 部分串联支路的等效电阻:  $R_{EQS}$  (DE 部分) =  $R_{13} +$