

配网降损、用户节电 的金钥匙 ——就地平衡降损法

张弘廷 张颢 杨洁 著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

配网降损、用户节电 的 金钥匙 ——就地平衡降损法

张弘廷 张 颢 杨 洁 著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

就地平衡降损法,是现阶段和以后较长一段历史时期内,降低中、低压电网线损的新方法,也是用户节电的新方法,是降损节电技术与俱进的产物。它包含两个方面内容:三相负荷就地平衡和无功就地平衡。本书对就地平衡进行了理论研讨,澄清了一些容易引起迷惑的说法和做法,以作者的成功经验为基础,详述了具体实施就地平衡的方法步骤。本法中数项方法、观点系国内首创。供电部门使用此法,可显著降低中、低压电网线损,并全面提升电网技术性能;厂矿企业、行政事业单位、商场饭店、家庭使用此法,可明显节约电能,减少电费开支。

本书内容通俗易懂,观点新颖,实用性强,可以作为供电企业降损技术培训教材,社会、企业、家庭节电降耗培训教材,亦可供农电职工、农电工和厂矿企业、行政事业单位、商场饭店管电人员和电工阅读,还可供各级用电管理人员、降损技术研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

配网降损、用户节电的金钥匙——就地平衡降损法/张弘廷,张颢,杨洁著. —北京:中国电力出版社,2010.1

ISBN 978-7-5083-9755-9

I. ①配… II. ①张… ②张… ③杨… III. ①电力系统-电能消耗-研究 IV. ①TM714.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第212697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>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2010年4月第一版 2010年4月北京第一次印刷

710毫米×980毫米 16开本 18.25印张 306千字

印数0001—3000册 定价38.00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

党和政府提出科学发展观,坚持以人为本,全面、协调、可持续发展,是为国民千秋万代造福。国家电网公司系统以党的十七大精神为指导,在保障国家能源安全的同时,大力开展节能减排工作,以电力行业的科学发展,促进建设资源节约型、环境友好型社会。在此背景下,就地平衡降损法应运而生。

当前由于下列原因,就地平衡降损法将在相当长的历史时期内发挥重要作用。

(1) 电力行业已成为关系国家能源安全和国民经济命脉的重要行业,各行各业的生产运营和千家万户的吃穿住行都离不开电力。

(2) 电力与煤炭、石油相比,不仅是更清洁、方便的能源形式,而且是最高效的能源形式。研究表明,1t 标准煤当量的电力创造的经济价值,与 17.3 吨标准煤当量的煤炭或 3.2 吨标准煤当量的石油创造的经济价值相同,这表明电力的经济效率最高,也就最可贵、最该节约。

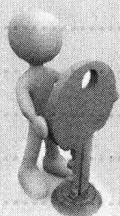
(3) 我国人口众多,能源资源相对缺乏,能源人均占有量和利用效率都较低。目前,我国人均发电装机仅为 0.5kW 左右,远低于发达国家平均 2kW 以上的水平。随着我国经济社会的快速发展,人均能源消费量逐年增加,能源供需的缺口将越来越大,保障能源和电力供应的压力会不断增加,经济社会发展所面临的能源瓶颈制约将在较长时期内存在。

(4) 供电网络降损和社会节电还有很大潜力。

2008 年是不平凡的一年,在本书编写过程中,元月份我国南方数省遭受百年一遇的暴雪冰冻灾害,5 月 12 日以我国四川省汶川县为中心的十几个县市遭受新中国成立以来最大的 8.0 级地震,在本书编写将要完成时,8 月 8 日,中华民族百年期盼的 29 届夏季奥运会在北京举办,9 月 6 日,2008 年残奥会在北京举办,激励我们发扬“全国上下万众一心,共克时艰”的抗灾救灾精神和“更高、更快、更强”的奥运精神,把节能减排工作推向前进!

由于作者水平有限,书中缺点和错误在所难免,敬请读者批评指正。

编者



目 录

前言

第一章 电工及线损基础知识	1
第一节 电工基础知识	1
第二节 电力负荷基础知识	23
第三节 无功基础知识	26
第四节 电网及线损	36
第五节 降低中、低压配电网线损的措施	42
第二章 三相负荷就地平衡降损法	47
第一节 三相负荷不平衡及其增加损耗分析	47
第二节 三相负荷不平衡原因分析	51
第三节 三相负荷就地平衡降损法应用实例	53
第四节 调平三相负荷的思路	60
第五节 三相负荷就地平衡降损法具体实施	64
第六节 示例台区调平三相负荷图表实例	69
第七节 三相平衡是农村低压电网安全可靠供电的基础	81
第八节 调平三相负荷降损实例	86
第九节 三相平衡解决火锅城电磁灶不能运行难题	88
第三章 无功就地平衡降损法	91
第一节 无功就地平衡降损研讨	91
第二节 随机补偿研讨	93
第三节 随机补偿的实践与思考	95
第四节 新形势下市县供电企业无功补偿工作研讨	98
第五节 解决电焊机电能表倒转难题	100
第六节 随机补偿实例	102
第七节 随器补偿研讨	108

第八节	家用电器的就地无功补偿·····	115
第九节	厂矿企业的无功补偿·····	116
第十节	谐波就地治理·····	119
第十一节	现阶段用户无功不能就地平衡的原因·····	123
第四章	就地平衡降损法综述·····	125
第一节	就地平衡是配电网降低线损的利器·····	125
第二节	就地平衡全面提升配电网技术性能·····	128
第三节	就地平衡降损法的一些说法和实施组织措施·····	134
第四节	就地平衡降损法与县局经济效益·····	138
第五节	就地平衡降损法与创一流·····	140
第五章	其他降损方法·····	144
第一节	农村表计管理实用方法两则·····	144
第二节	一起隐蔽窃电案件及查处经过·····	145
第三节	电能表节电降损·····	147
第四节	安装漏电保护器防漏电、防窃电·····	149
第五节	“鬼怪”闹住宅，电工破疑案·····	151
第六节	减小接触电阻降损·····	153
第七节	交流接触器节电降损·····	158
第八节	窃电器构造、行窃手段及防范·····	162
第九节	家庭节电·····	164
第十节	厂矿企业节电降耗·····	171
第十一节	降损节电与科学发展观·····	175
第六章	相关安全用电技术·····	180
第一节	漏电保护开关安装、运行管理技术要点·····	180
第二节	漏电保护开关的维修·····	183
第三节	改造后的低压配电网漏电保护方式的探讨·····	187
第四节	当前农网低压漏电保护技术状况浅析·····	190
第五节	调整单相负荷用户提高总保护运行率·····	192
第六节	调平单相负荷用户提高总保护运行率纪实·····	196
第七节	装设漏电保护器的必要性·····	200
第八节	低压漏电总保护安装要点·····	209
第九节	现场处理低压漏电总保护运行问题·····	212

第十节 低压漏电总保护安装问题处理实例	214
第十一节 漏电保护器灵敏度探讨	219
第十二节 接地不良问题处理实例	221
第十三节 分路保护问题处理实例	222
第十四节 漏电保护系统不独立问题处理实例	224
第十五节 漏电保护器维修思路和技巧	239
第十六节 低压架空电力线路与环境保护等的矛盾	233
第十七节 检修短路故障的方法	236
第十八节 认识熔丝烧断故障	238
第十九节 农村低压电器使用中应注意的问题	240
第二十节 农村配电台区及低压用户接地问题探讨	242
第二十一节 配电台区漏电故障浅析	245
第二十二节 利用短路指示器快速查找线路故障点	247
第二十三节 浅谈春雪引起电力线路倒杆断线事故的原因及防护	248
第二十四节 改革安全考核方法探讨	258
第二十五节 安全标语要具有针对性、普及性	260
附录 就地平衡降损法学习培训题库	262
后记	277

第一章

电工及线损基础知识

第一节 电工基础知识

电磁学 研究电磁现象的规律和应用的学科。研究对象包括静电现象、磁现象、电流现象、电磁辐射和电磁场等。实际上磁现象和电现象总是紧密联系而不可分割的，如变化的磁场能够激发电场，反之，变化的电场也能激发磁场。电工学和无线电电子学等都是在电磁学的基础上发展起来的。

静电学 主要研究静电场的性质、静止带电体和静电场的相互作用，以及有关的现象和应用等。

电磁场 是相互依存的电场和磁场的总称。电场随时间变化而引起磁场，磁场随时间变化又产生电场，二者互为因果，形成电磁场。电磁场一般以光速向四面八方传播，形成电磁波。电磁场是物质存在的一种形式，具有质量、动量和能量。

电荷守恒定律 在一个与外界不发生电荷交换的孤立系统中，所有正负电荷的代数和保持不变。如正负电荷代数和为零的两个中性物体互相摩擦时，一个物体带正电，另一个物体必然带等量的负电。又如一个电子与一个正电子在适当条件下相遇时，会发生湮灭而转化为两个光子。电子与正电子所带的电量相等而异号，而光子不带电，所以在湮灭过程中，正负电荷的代数和依然不变。

电 古代就已观察到“摩擦起电”现象，并认识到电有正负两种，同种排斥，异种相吸。当时因为不了解电的本质，认为电是附着在物体上的，因而把它称为电荷，并把显示出这种斥力或吸力的物体称为带电体。习惯上有时也把带电体本身简称为电荷（运动电荷、自由电荷等）。这些名称沿用已久。现代科学指出：一切物体都是由大量原子构成，而原子则由带正电的原子核和带负

电的电子组成。在正常情况下，同一个原子中正负电量相等，因而整个物体被认为是不带电的或中性的。当它们由于某种原因（如摩擦、受热、化学变化等）而失去一部分电子时，就带正电，获得额外电子时，就带负电。电荷周围存在着电场，运动电荷周围存在着磁场。随着人们对电的本质、特征和控制方法逐步了解和掌握，电在生产、生活和科学实验中的应用日益广泛。

导体 具有大量能够在外电场作用下自由移动的带电粒子，因而能很好传导电流的物体。金、银、铜、铁等一切金属，以及含有正、负离子的电解质等都是导体。

绝缘体 绝缘体也称“非导体”。它是具有良好的电绝缘和热绝缘的物体。玻璃、塑料、橡胶、毛皮、瓷器、云母等物质都是绝缘体。绝缘体内几乎没有自由电荷，所以不能导电。

电介质 不导电物质的学名。电介质的基本特征是在外电场作用下产生极化。当外电场的电场强度超过某极限值时，电介质会被击穿而失去介电性能。电介质在工程上被用作电气绝缘材料、电容器的介质及特殊的电介质器件等。

摩擦起电 两种不同物体相互摩擦后，一个带正电，一个带负电的现象。摩擦起电是电子由一个物体转移到另一个物体的结果。两个物体摩擦起电时，它们所带的电量在数值上相等。

正电荷 也称阳电荷，如质子所带的电。中性物体失去若干电子后即带正电荷。

负电荷 也称阴电荷，如电子所带的电。中性物体获得额外电子后即带负电荷。

自由电荷 存在于物质内部的、在外电场作用下能够自由运动的正、负电荷。这种正、负电荷之间的相互作用力比外电场给它们的力弱，因此可以彼此脱离而移动。例如，金属中的自由电子、电解液或气体中的离子等。

束缚电荷 当电介质处于外电场中被极化时，在电场力作用下，分子中的正负电荷中心将发生相对位移，形成新的电偶极子，对于一块电介质整体来说，由于电介质中每一个分子都成了电偶极子，在电介质内部保持电中性，而在电介质的两个和外电场相垂直的表面上分别出现正电荷和负电荷，这些电荷不能离开电介质，也不能在电介质中移动，这类电荷称为束缚电荷，也称为极化电荷。

点电荷 不考虑其大小和分布状况而可看作集中于一点的电荷。如果电荷分布在带电体上，则当带电体的线度在所讨论问题中远小于其距离或长度时，

这种电荷分布也可当作点电荷。点电荷只是一个为讨论问题方便而引入的理想概念。

电量 物体荷电多少的量度。国际单位制中电量的单位为库仑。目前, 电子的电量是电量的最小单元, 其值为 $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 。一般来说, 带电体的电量数值上都是电子电量的整数倍。

电荷密度 电荷分布疏密程度的量度。电荷分布在物体内部时, 单位体积内的电量称为电荷体密度, 分布在物体表面时, 单位面积上的电量称为电荷面密度; 分布在线上时, 单位长度上的电量称为电荷线密度。导体带电时, 电荷都分布在表面, 而尖端处的密度最大。

电偶极子 两个相距极近、等量而异号的点电荷所组成的系统。一个电荷的电量和两个电荷间的距离的乘积称为电偶极矩, 它是矢量, 方向沿着两个电荷的连线, 自负电荷指向正电荷。对于复杂的中性分子电结构, 如果其正电荷中心与负电荷中心不相重合, 也可近似的认为是一个等效电偶极子。

电场 传递电荷和电荷间相互作用的物理场, 是一种特殊物质。电荷周围总有电场存在, 同时电场对场中其他电荷会发生力的作用。

库仑定律 表示两个静止点电荷间相互作用力的定律。法国物理学家库仑于 1785 年发现。库仑定律内容为: 两个点电荷间的作用力 (称为库仑力) 的方向在这两个点电荷的连线上, 作用力的大小跟每个点电荷的电量成正比, 跟点电荷间的距离的平方及电荷所在介质的介电常数成反比, 即 $F = Kq_1q_2/\epsilon r^2$ 。同种电荷为斥力, 异种电荷为引力。在国际单位制中, 比例常数 $K = 9.8 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ 。

电场强度 表示电场强弱和方向的物理量, 表征电场的力的性质。电场中某点的电场强度, 等于放在该点的检验电荷所受的电场力跟其电量的比, 即 $E = F/q$ 。电场的方向可用检验电荷 (正电荷) 在该点所受电场力的方向来确定。电场强度的单位为 N/C 、 V/m 等。

电力线 描述电场分布情况的曲线, 实际上并不存在。曲线上各点的切线方向就是该点的电场方向, 电力线条数的多少可以形象地描述该点电场的强弱 (即电场强度的大小)。在静电场中, 电力线从正电荷出发终止于负电荷, 不形成闭合线, 也不中断。在交变电磁场中, 电力线是围绕磁力线的闭合线。由于电场中每一点只有一个电场方向, 所以任何两条电力线不能相交。

电势 描述电场能的性质的物理量。电场中某点的电势在数值上等于单位正电荷在该点所具有的电势能, 即 $U = W/q$ 。电势的单位为伏特 (V)。理论上常把“无限远”处作为电势零点, 实用上常取地球表面为电势零点。电场中

某点的电势在数值上也就等于单位正电荷从该点移到无限远处（或地面）时电场对其作的功。这功与路径无关。当电荷在电场力作用下移动时，它的电势能减少；电荷在外力作用下克服电场力做功时，电荷的电势能增加。若电荷自无限远处移到电场中某一点时，需要外力克服电场力做功，则电荷在这一点电势能大于零；如果电荷自无限远处移到电场中某一点时，是电场力做功，则电荷在这一点电势能小于零（负值）。电势是标量，它可以是正值、负值或零值。

电势差 也称“电位差”、“电压”。它是静电场中或直流电路中两点间电势的差值，在数值上等于电场力使单位正电荷从一点移动到另一点所做的功，即 $U_{AB}=U_A-U_B=A/q$ 。在交流电路中，两点间的电势差在正、负极大值之间作周期性变化，所以交流电路中的电势差只有瞬时值的意义，常用有效值表示： $U=U_m/\sqrt{2}$ 。电势差的单位为伏特（V）。

静电感应 导体因受附近带电体的影响而在其表面的不同部分出现正负电荷的现象。处在电场中的导体，由于电场的作用，导体中的自由电子进行重新分布，使导体内的电场跟着变化，直到导体内的电场强度减小到零为止。结果靠近带电体的一端出现与带电体异号的电荷，另一端出现与带电体同号的电荷。如果导体原来不带电，则两端带电的数量相等，如果导体原来已经带电，则两端电量的代数和应与导体原带电量相等。

静电屏蔽 为了避免外界静电场对电或非电设备的影响，或者为了避免电设备的静电场对外界的影响，需要把这些设备放在接地的封闭或近乎封闭的金属罩（金属壳或金属网）里，这种措施称为静电屏蔽。

介电常数 也称“电容率”、“相对电容率”。同一电容器中用某一物质作为电介质时的电容和其中为真空时电容的比值。介电常数通常随温度和介质中传播的电磁波的频率而变。电容器的电介质要求具有较大的介电常数，以便减小电容器的体积和质量。

电容 表征导体或导体系统储存电荷能力的物理量。孤立导体的电容等于它所带电量与它具有的电势的比值，即 $C=q/U$ 。电容器的电容等于电容器所带

—||— C （一般） 电量和两极间电势差的比值，即 $C=q/U$ 。

—||— C （有极性） **电容器** 电路中用来储积电能的元件，简称电容，用字母 C 表示。电容器是由电介质相隔开的两片（或两组）相互靠近、又彼此绝缘的金属片组成的。其图形符合如图 1-1 所示。

图 1-1 电容器的图形符号

容器可盛放东西，电容器可储藏电荷。容器盛放东西的多少用容量来表示，电容器储藏电荷的能力用电容量来表示。常用的电容量的单位有法（F）、微法（ μF 或 μ ），微微法（pF 或 p）， $1\text{F}=10^6\mu\text{F}=10^{12}\text{pF}$ 。

电容器的特性可用图 1-2 中电路来演示。若加上直流电，电容器充满电后，电路中电流即为零（指示灯明一下即熄灭），说明电容器充满电后对直流电呈现无穷大的电阻，即起隔断作用；但若加上交流电，因交流电大小方向不断变化，电容器依交流电的频率不停地充放电，电路中始终有电流流过（指示灯始终明亮），说明电容器对交流电是呈现一定阻抗的通路，频率越高，阻抗越小，这就是电容器的所谓“通交流、隔直流”特性。

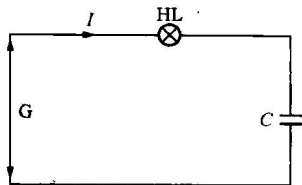


图 1-2 电容器特性演示电路

G—电源；HL—指示灯

电容器所用的电介质有固体的、气体的（包括真空）和液体的。按构造可分为固定的、可变的和半可变的三类。按所用的电介质可分为空气电容器、真空电容器、纸介电容器、塑料薄膜电容器、金属化聚丙烯膜电容器、云母电容器、陶瓷电容器、电解电容器等。电容器在电力系统中是提高功率因数的重要器件，在电子电路中是获得振荡、滤波、相移、旁路、耦合等作用的主要元件。

气体放电 电流通过气体时发生的现象。由于紫外线、宇宙射线、微量放射性物质的作用，气体常含有少量的正负离子，这些离子在外加电压下运动而形成电流。电流通过气体时常伴有发光、发声等现象。由于气体性质、气压、电极形状、外加电压等的不同，呈现不同的放电现象。例如电晕、弧光放电、辉光放电、火花放电等。气体放电的研究与高电压绝缘、高温、照明等问题都有密切关系。

辉光放电 低压气体中显示辉光的放电现象。其特征是需要电压、电阻和电流密度都很小。荧光灯、霓虹灯等均是利用辉光放电发光的。

电晕 带电体表面在气体或液体介质中局部放电的现象。常发生在不均匀电场中和电场强度很高的区域内。例如高压导线周围、带电体尖端附近。其特征是，出现与日晕相似的光层，发出“嗤嗤”的声音，产生臭氧、氧化氮等。电晕会引起电能的损耗，并会对通信和广播发生干扰。

弧光放电 显示弧形白光、产生高温的气体放电现象。其特点是，需要的电压不高，但电流很大。电弧可作为强光源（如弧光灯）、紫外线源（太阳

灯)、强热源(电弧炉、电焊机)。在开关电器中,由于触头分开而引起电弧,有烧毁触头的危害作用,必须采取措施,使其迅速熄灭。

火花放电 在电势差很高的正负带电区域间,显示闪光并发出声音的短时间气体放电现象。在放电的空间内,气体分子发生电离,气体迅速而剧烈发热,发出闪光和声音。电火花常用在光谱分析、金属电火花加工、内燃机的点燃设备等方面。

尖端放电 导体尖端处发生的放电现象;当导体带电时,尖端附近的电场特别强,使附近气体电离,导致放电。避雷针就是根据尖端放电的原理制造的。

电流 电荷的定向移动形成电流,例如,金属中自由电子的流动、液体或气体中正负离子在相反方向上的流动。电流用 I 表示,单位为安培。电流的周围存在着磁场,电流通过电路时使电路发热,通过电解质时引起电解,通过稀薄气体时,在适当条件下导致发光。电流有时也作电流强度的简称。

电流传输速度接近于光速,即约每秒 30 万 km。电子总是从负极出发到正极,但电流方向习惯上仍然沿用以前的规定,即电流的方向从正极流向负极。形成电流需要具备两个条件:一是迫使电子运动的能力;二是电子运动的通路。第一个条件通常由发电机、电池等专门设备提供,第二个条件由铜、铝导线或导电液体等构成通路。

电流密度 电路中的电流与电路横截面积的比值, $J=I/S$, 通常 I 的单位用安培, S 的单位用平方毫米。线路中同一根导线,如果有的地方粗,有的地方细,则运行中电流密度就不相等:在截面大的地方电流密度小;在截面小的地方电流密度大,发热多,电能损耗多,容易过热烧断,俗称“卡脖子”。

电流强度 单位时间内通过导体横截面的电量,即 $I=q/t$ 。单位为安培(A), $1\text{A}=1\text{C/s}$, 即在 1s 内流过 6.24×10^{18} 个电子。比安培小的单位有毫安和微安, $1\text{安培(A)}=1000\text{毫安(mA)}$, $1\text{毫安(mA)}=1000\text{微安}(\mu\text{A})$ 。一般用电流的热效应、磁效应、化学效应等来测定电流强度。

直流电 简称“直流”,一般指大小和方向不随时间变化的电流,代号 DC,符号“—”。在恒定电阻的电路中,加上电压恒定的电源,便产生大小和方向都不变的直流电,也称“稳恒电流”。直流电一般有电池、蓄电池、整流器提供。

交流电 简称“交流”,一般指大小和方向随时间作周期性变化的电流,

由交流发电机发出,最基本的形式是正弦交流电。我国交流电供电的标准频率为 50Hz,即每秒钟变化 50 周。

电流的波形图 电流随时间而变化的图形称为电流的波形图,如图 1-3 所示。图中横坐标表示时间,纵坐标表示电流的大小和方向。

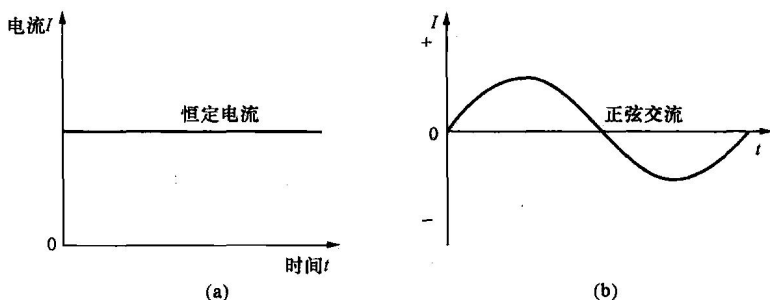


图 1-3 直流与交流的波形

(a) 直流; (b) 交流

三相交流电 三相交流发电机有三个绕组,彼此相距 120° 电角度,发电机的三相交流电就是从这三个绕组产生的。当发电机所产生的交流电是三个频率相同、振幅相等、相位互差 120° 的交流电动势时,称为三相交流电。

当输送同样功率的电时,用三相输电比单相输电节约有色金属和材料,并能减少线路上的电能损耗。而且三相电器设备,如变压器、电动机等,其电气性能与机械特性都比单相电器优良,制作简单,成本低廉,使用与维护也较方便,故被广泛应用。

三相四线制供电 三相四线制电路中,有三根是相线(俗称火线),一根是中性线(也称零线)。相线是从发电机或变压器三个绕组的端点引出的,三个绕组的另一端接在一起,称为中性点,中性线就是从中性点引出的。因中性点接地,故中性点也称为零点,中性线也称作零线。一般中性线和相线之间的电压是 220V,相线和相线之间的电压是 380V。这样,三相四线制电路可以既供动力,又供照明,因而适应广泛的使用场合。

电路 就是电流通过的路径,由电源、负载、连接导线和开关等组成。电源内部的一段电路称内电路,负载、连接导线和开关等称为外电路。当开关闭合时(电器上常用“ON”表示),电路中有电流流过,负载就可以工作,叫做接通电路,即合闸。当开关断开时(电器上常用“OFF”表示),电路中没有电流流过,负载停止工作,叫做断开电路,即分闸。直流电通过的电路称“直

流电路”；交流电通过的电路称“交流电路”。电路的参数（电阻、电感、电容）不随电流或电压的大小及方向改变而改变时，称“线性电路”。

负载 把电能转换成其他形式的能的装置叫做负载，如电灯把电能转换成光能，电动机把电能转换成机械能，电磁灶把电能转换成热能等。电灯、电动机、电磁灶等都叫做负载。也就是电网末端的用电设备。由于用电设备向电源取用电流来做功，因而人们也常把电流叫做负载，或叫做负载电流。对于电网来说，负载侧就是电力需求侧、电力消费侧。

短路 电路中不同电位的两点没有通过用电器，直接碰接或通过阻抗（或电阻）非常小的导体接通时的情况。短路时电流很大（理论上趋近于无穷大），发生电弧，剧烈发热，可能损坏设备，因此要采取措施（如安装熔断器、自动过流保护装置等）防范短路事故的发生。

串联 把元件逐个顺次连接的方法。串联电路的特点是：通过各个元件的电流强度相同，总电压等于各个元件两端的电压之和。电阻串联时，总电阻等于各个电阻之和。电容串联时，总电容的倒数等于各个电容倒数之和。电源串联时，把一个电源的负极与另一个电源的正极相接，这样顺次连接，整个电源组的电动势等于各个电源电动势之和。需要较高电压时可用串联。在交流电路中，各元件可以是电感、电容、电阻，这时总电阻与总电抗分别等于各电阻与电抗的代数和，参见图 1-4。

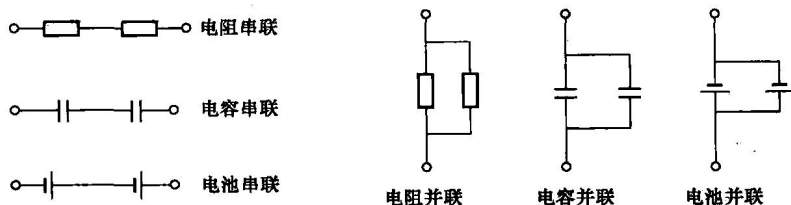


图 1-4 元件的串联与并联

并联 元件并列连接在电路上两点间的连接方法。并联电路的特点是并联元件两端的电压都相等，总电流等于通过各元件电流之和。电阻并联时，总电阻的倒数等于各个电阻的倒数和。电容器并联时，总电容等于各个电容之和。电源并联时，把相同电源的正极接在一起，负极接在一起，总电动势等于一个电源的电动势，通过外电路的总电流等于通过各电源的电流之和。需要较强电流时可用并联。在交流电路中，各元件（电感、电容、电阻）并联时，总电导与总电纳分别等于并联的电导和电纳的总和。

电阻 物质阻碍电流通过的一种性质。电路中两点间电压一定时，电阻是决定电流强度的一个物理量。不同物质的电阻差别很大。导体的电阻最小，但随温度升高而增大。绝缘体的电阻最大。半导体电阻的大小介于导体和绝缘体之间，并随温度的升高而显著减小。电阻代表符号是 R ，计量单位是欧姆 (Ω)。

电阻器 电阻器简称电阻，用来控制电路中电流或电压的大小。电阻器有固定电阻（一般用 R 表示）和可变电阻（如电位器，用 RP 表示）等种类，其图形符号如图 1-5 所示。

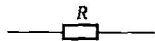


图 1-5 电阻器的图形和符号

电阻值的单位是欧姆，简称欧，用字母 Ω 表示。1 欧姆就是长度为 106.8cm、截面积为 1mm^2 的水银柱在 0°C 时的电阻量。较大量值电阻的计量单位用千欧 ($\text{k}\Omega$) 和兆欧 ($\text{M}\Omega$)

$$1 \text{ 千欧}(\text{k}\Omega) = 1000 \text{ 欧}(\Omega)$$

$$1 \text{ 兆欧}(\text{M}\Omega) = 1000 \text{ 千欧}(\text{k}\Omega) = 10^6 \text{ 欧}(\Omega)$$

电流通过电阻时，电阻由于消耗功率而发热。若电流过大，电阻就会发烫甚至烧毁。人们把电阻长期工作所能承受的最大功率称为额定功率。功率的单位是瓦特，简称瓦，用字母 W 表示。

推而广之，电阻的概念并不局限于一个具体的电阻器，一段有一定电阻的导线，可用一个电阻来表示；用电器的性质为电阻性，如电热毯、电炉子、白炽灯等，也可用一个电阻来表示。由于电阻无处不在，因此，电阻是电学中用得最多、最活的概念。

电阻定律及电阻率 电阻定律是确定导体电阻值的定律。导体的电阻跟导体的长度成正比，跟导体的电阻率成正比，跟导体的横截面积成反比，即 $R = \rho L / S$ 。 ρ 为电阻率。电阻、电阻率、长度和截面积的单位分别是： Ω 、 $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$ 、 m 和 mm^2 。电阻率是表示物质导电性能的物理量，随温度的变化而变化。电阻率越小，表示物质的导电本领越强（电阻小）。电阻率的规定有两种：①长 1cm、截面积 1cm^2 的导体在一定温度时的电阻。单位为 $\Omega \cdot \text{cm}$ 。②长 1m、截面积为 1mm^2 的导体，在一定温度时的电阻，单位为 $\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$ ，常用后者。

电阻温度系数 表示物质的电阻率随温度变化的物理量。金属的电阻率与温度的关系为 $\rho = \rho_0(1 + \alpha t)$ ，其中 ρ_0 为 0°C 时的电阻率， t 为摄氏温度， ρ 为 $t^\circ\text{C}$ 时的电阻率， α 为温度系数。温度越高，金属的电阻率越大。半导体和电介

质的这个关系较复杂，一般是温度越高，电阻率反而越小。

欧姆定律 在有稳恒电流通过的电路中，电流、电压（或电动势）、电阻之间的关系的规律。由德国科学家欧姆在 1827 年发现。部分电路欧姆定律：通过部分电路的电流与该电路两端的电压成正比，与该电路的电阻成反比，即 $I=U/R$ 。全电路欧姆定律：通过闭合电路的电流，等于该电路中电源电动势，除以电路中的总电阻（外电阻和电源的内电阻之和），即 $I=E/(R+r)$ 。欧姆定律是电学中应用最广泛的定律，在线损分析中也常用到。

焦耳—楞次定律 也称焦耳定律，是确定电流通过导体时产生热量的定律，是定量描述电流热效应的。由焦耳于 1841 年、楞次于 1842 年各自独立发现。电流在导体中产生的热量与电流强度的平方、该导体的电阻、通电时间三者的乘积成正比，即 $Q=0.24I^2Rt$ ，热量 Q 的单位为卡。供电线路有一定电阻，运行时通过电流，就有电能变成热能散发到空中损耗掉，称为线路损耗，简称线损。

电功与电功率 电流所做的功叫电功。电流做功的过程就是电能转化为其他形式的能量的过程，电流做了多少功，就表示有多少电能转化成了其他形式的能。精确的实验表明：电流在一段电路上所做的功，跟这段电路两端的电压、电路的电流强度和通电时间成正比，即 $W=IU t$ ，单位为 J、kWh（度）。1 度电是指电功率为 1 千瓦的用电器工作 1h 电流所做的功。1 千瓦时（度）= 3 600 000J。电流在 1s 内所做的功叫电功率，单位为瓦特。

电阻损耗与线损 根据上述电功的概念，电流在一段导线上所做的功（即电能损耗 ΔW ），跟这段导线两端的电压（即电压降 ΔU ）、通过的电流和通电时间成正比，即 $\Delta W=I\Delta U t$ ，因 $\Delta U=IR$ ，故 $\Delta W=I^2Rt$ ，称为电阻损耗，单位为 J、kWh（度）。

热量的单位如果取焦耳，因为 $1\text{kal}=1/0.24\text{J}$ ，故 $Q=I^2Rt$ （J），与电阻损耗一致，表明导线的电阻损耗等于电流通过导体所产生的热量，因这热量散发到空中损耗掉了，故又叫热量损耗，即电阻损耗=热量损耗。

供电线路有一定电阻，运行时通过电流，就有电能变成热能散发到空中损耗掉，称为线路损耗，简称线损。因导体总有一定电阻，故线损不可避免，只有大小之分。

额定值 电气设备连续通电，就会连续发热。当发出的热量与散逸的热量相等时，设备达到了稳定的温度。此时的温度应小于电气设备中绝缘介质所能耐受的温度。在长时间内（或指定时间内）电气设备连续工作仍能保持正常运