

电工技术手册

周希章 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

电工技术手册

周希章 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本手册共分七篇 24 章, 包括基础篇、电机和变压器篇、电器篇、电力电子技术基础篇、电力拖动自动控制篇、工厂供电和输配电线路篇以及安全和节约用电篇等内容。

本手册结构合理、选材适当、内容新颖, 文字精炼, 深入浅出, 实用性强, 适合电工技师和中高级电工以及从事电工技术工作的广大工程技术人员使用。同时配合国家高技能人才培养工程的要求, 亦可作为考评高级电工和电工技师的主要参考书, 以及供大、中专院校师生阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工技术手册/周希章主编. —北京: 中国电力出版社, 2004
ISBN 7-5083-1970-2

I. 电… II. 周… III. 电工技术—手册 IV. TM—62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 121088 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>)

北京市铁成印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2004 年 12 月第一版 2004 年 12 月北京第一次印刷
850 毫米 × 1168 毫米 32 开本 43.625 印张 1598 千字
印数 0001—4000 册 定价 84.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

《电工技术手册》

编委会

主 编 周希章

副主编 周 全 王 晶

编 委 赵志成 傅守业 章文生 王宝明

秦蕴生 杨月来 董炳生 王奎成

周 勇 时 雨

前 言

《电工技术手册》是一本实用工具书。编者根据电工技术和电力电子技术领域包含的内容以及电工中各工种的应知应会要求，参考有关手册和资料，经过精心筛选，编写了这本手册。

本手册包括基础篇、电机和变压器篇、电器篇、电力电子技术基础篇、电力拖动自动控制篇、工厂供电和输配电线路篇、安全和节约用电篇共七篇24章内容。在选材和编写上，注意做到了以下几点：

(1) 全面系统。手册全面系统地阐述了电工需要了解和掌握的基本理论知识和工艺、电工基本计算方法、操作技能要求等实用技术，提供了解决问题的方法。

(2) 通俗易懂。手册力求做到简明扼要、条理清晰、图文并茂、文字流畅；理论联系实际，正确指导如何运用理论解决实际问题；内容深入浅出，既突出重点，又兼顾全面，语言通俗易懂，便于读者自学。

本手册适合电工技师和中高级电工以及从事电工技术工作的广大工程技术人员使用，并配合国家高技能人才培训工程的要求，可作为考评高级电工和电工技师的主要参考。

本手册编写过程中，承蒙赵家礼教授级高级工程师提出了许多宝贵意见，特此表示诚挚的谢意。

由于编者学识水平所限，虽然做了很大努力，但手册中仍难免有谬误和不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2004年6月于北京

目 录

前 言

第一篇 基础篇

第一章 电工基本原理	1
第一节 线性直流电路	1
一、电路的重要物理量	1
二、电路的基本定律	5
三、线性直流电路计算方法	10
第二节 交流电路	24
一、交流电的基本性质	24
二、单相正弦交流电路	27
三、三相正弦交流电路	34
第三节 磁路	37
一、磁场的基本物理量和基本定律	37
二、磁路定律	42
第二章 电工基本操作技能知识	48
第一节 电气钳工基本知识	48
一、电气钳工常用量具	48
二、电气钳工基本操作	58
第二节 常用电工仪表	82
一、电工测量的基本知识	82
二、电工仪表的分类和选择	91
三、电工仪表的维护校验	96
四、携带式电工仪表	103
第三节 电工识图	114
一、识图基本知识	114
二、车间动力电气平面布线图	155
三、车间照明电气平面布线图	158
第四节 电气安全用具	159
一、安全用具的分类	159
二、安全用具的正确使用	167
第三章 常用电工材料	169
第一节 导电材料	169
一、导电用纯金属	169
二、电阻与电热材料	170
三、电线电缆	176
第二节 磁性材料	206
一、软磁材料	206
二、永磁材料	210
第三节 绝缘材料	215
一、绝缘材料的耐热等级	215

第二篇 电机和变压器篇

第一章 直流电机 237

第一节 直流电机的基本

- 知识 237
- 一、直流电机的工作原理 237
- 二、直流电机的基本结构 239
- 三、直流电机的电枢反应 253
- 四、直流电机的换向 256
- 五、直流发电机的运行特性 265

第二节 直流电机的运行

- 维护 271
- 一、直流电机起动前的检查 271
- 二、直流电机运行时的监视和

维护 272

第三节 直流电机故障

- 分析和处理 278
- 一、定子绕组故障分析和处理 278
- 二、电枢绕组故障分析和处理 283
- 三、换向器故障分析和处理 292
- 四、直流电机运行中常见故障和处理方法 296
- 五、直流电机修复后的试验 302

第二章 交流电机 312

第一节 三相异步电动机 ... 312

- 一、三相异步电动机的工作原理 312
- 二、三相异步电动机的基本结构 317
- 三、三相异步电动机的使用和维护 331
- 四、三相异步电动机故障分析和处理 337

第二节 同步电动机 369

- 一、同步电机的用途和分类 369
- 二、三相同步电动机的工作原理和运行特点 370

- 三、三相同步电动机的基本结构和励磁系统 376
- 四、同步电动机的故障分析和试验 379
- 五、小功率同步电动机简介 382

第三节 单相异步电动机 ... 388

- 一、单相异步电动机的工作原理 388
- 二、单相异步电动机的分类和特点 391
- 三、单相异步电动机的绕组 397
- 四、单相异步电动机的使用维

第三章 常用特种电机 411**第一节 交磁电机扩大机** ... 411

- 一、交磁电机扩大机的工作原理和特点 411
- 二、交磁电机扩大机的基本结构 414
- 三、交磁电机扩大机的工作特性 418
- 四、交磁电机扩大机的运行维护 421

第二节 直流弧焊发电机 ... 431

- 一、直流弧焊发电机结构和特点 431
- 二、直流弧焊发电机维护保养和故障分析处理 436

第三节 换向器式调速异步电动机 440

- 一、换向器式调速异步电动机结构和调速原理 440
- 二、换向器式调速异步电动机的使用和维护 444
- 三、换向器式调速异步电动机常见故障分析和

处理 448

第四节 电磁调速三相异步电动机 456

- 一、电磁调速三相异步电动机结构和调速原理 456
- 二、电磁调速三相异步电动机的工作特性 461
- 三、电磁调速三相异步电动机的控制装置 466
- 四、电磁调速三相异步电动机常见故障分析和处理 469

第五节 变极多速三相异步电动机 472

- 一、变极原理 472
- 二、变极的接线方式及其特性 473
- 三、变极电动机的应用范围和 控制 477
- 四、单速电动机改为单绕组双速电动机的改绕计算 480

第四章 变压器 491**第一节 变压器的基础知识** 491

- 一、变压器的用途和分类 491
- 二、变压器的基本原理 493
- 三、油浸式电力变压器的结构 495
- 四、变压器的型号与铭牌 504
- 五、三相变压器的连接组标号 509
- 六、变压器的计算方法 517

第二节 电力变压器的安装 535

- 一、电力变压器安装前的检查 535
- 二、中小型配电变压器的安装要求 539
- 三、电力变压器的安装交接验收 541

第三节 电力变压器的运行和维修 543

一、电力变压器的日常维护	543	第四节 特种变压器	566
二、电力变压器的并列运行	547	一、仪用互感器	566
三、电力变压器的异常运行和故障处理	549	二、炼钢电弧炉变压器	579
四、电力变压器的检修和验收	556	三、弧焊变压器	590
		四、自耦变压器和调压器	600
		五、试验变压器	602
		六、整流变压器	603

// 第三篇 电器篇 //

第一章 常用低压电器 605

第一节 概述	605	第四节 接触器	647
一、低压电器的分类和型号表示方法	605	一、接触器的类型和结构特征	647
二、低压电器常见使用类别	613	二、接触器的选用	653
三、低压电器的关键性能指标	614	三、接触器的安装与维修	658
四、低压电器选用原则	620	第五节 继电器	663
第二节 刀开关和熔断器	621	一、概述	663
一、刀开关	621	二、热继电器	664
二、熔断器	625	三、电磁式控制继电器	675
第三节 断路器	631	第六节 起动器	687
一、断路器的类型和结构特征	631	一、起动器的类型及主要用途	687
二、断路器的选用	638	二、起动器的基本性能	689
三、断路器的安装与维修	645	三、起动器的选用和维修	689
		第七节 漏电保护器	696
		一、概述及工作原理	696
		二、技术参数和选用	702
		三、安装和运行	709

第二章 常用高压电器 716

第一节 概述	716	一、概述	719
第二节 高压断路器	719	二、高压油断路器	727

三、真空断路器·····	742	类和结构特征·····	770
四、六氟化硫气体断路器·····	750	二、高压熔断器的安装运行 和维修·····	773
第三节 高压负荷开关 和隔离开关·····	758	第五节 避雷器·····	775
一、负荷开关·····	758	一、避雷器的用途、分类和 结构特征·····	775
二、隔离开关·····	763	二、避雷器的安装运行和 维修·····	779
第四节 高压熔断器·····	770		
一、高压熔断器的用途、分			

第四篇 电力电子技术基础

第一章 半导体的基本知识 787

第一节 晶体二极管·····	787	第二节 晶体三极管·····	794
一、半导体材料和 PN 结·····	787	一、晶体三极管的结构及 基本性能·····	794
二、晶体二极管的结构和 特性·····	789	二、晶体三极管的应用和 简易测试·····	798
三、晶体二极管的应用和简易 测试·····	792	三、场效应管·····	801

第二章 晶体管电路 805

第一节 放大电路·····	805	三、运算放大器·····	821
一、交流放大电路·····	805	第二节 脉冲与数字电路·····	830
二、直流电压放大器·····	816	一、脉冲电路·····	830
		二、数字电路·····	836

第三章 晶闸管电路 850

第一节 晶闸管元件·····	850	一、单相可控整流·····	857
一、晶闸管的结构、工作原理 和特性·····	850	二、三相可控整流·····	867
二、晶闸管元件参数名词的 技术含义·····	852	三、各种整流电路的参数 比较·····	875
三、晶闸管的简易判断 方法·····	854	第三节 晶闸管的触发 电路·····	875
四、特殊晶闸管简介·····	855	一、晶闸管电路用移相触 发脉冲的几个问题·····	875
第二节 可控整流电路·····	857	二、单结晶体管触发电路·····	878

三、晶体管触发电路·····	887	保护·····	891
第四节 晶闸管的串并联及		一、晶闸管的串并联·····	891
		二、晶闸管的保护·····	893

第五篇 电力拖动自动控制篇

第一章 电力拖动自动控制基础 900

第一节 生产机械和电动机	起 动·····	923
的机械特性·····	五、同步电动机的起 动·····	926
一、生产机械的机械特性·····	900	
二、电动机的机械特性·····	901	
第二节 电动机的起 动·····	906	
一、笼型异步电动机的		
起 动·····	906	
二、绕线转子异步电动机的		
起 动·····	910	
三、直流他励电动机的		
起 动·····	916	
四、直流串励电动机的		
	第三节 电动机的制 动·····	931
	一、电动机制 动的基 本	
	要 求·····	931
	二、电动机的机械制 动·····	931
	三、电动机的电气制 动·····	934
	第四节 电动机的调 速·····	959
	一、调 速的基 本概念和主 要	
	指 标·····	959
	二、直流电动机调 速·····	964
	三、三相异步电动机调 速·····	996

第二章 可编程序控制器应用技术 1043

第一节 概 述·····	1043	原 理·····	1052
一、可编程序控制器的			
由 来·····	1043	第三节 可编程序控制器的	
二、可编程序控制器的		编 程语言 和编 程	
定 义·····	1044	方 法·····	1054
三、可编程序控制器的		一、可编程序控制器的编 程	
特 点·····	1044	语 言·····	1054
四、可编程序控制器的发展		二、可编程序控制器的编 程	
趋 势·····	1046	方 法·····	1058
第二节 可编程序控制器的组		第四节 可编程序控制器的	
成和工作原理·····	1047	设计 与应 用·····	1067
一、可编程序控制器的		一、可编程序控制器的	
组 成·····	1047	设计·····	1067
二、可编程序控制器的基本工作		二、可编程序控制器的应 用	
		举 例·····	1072

第三章 数控机床简介

1088

第一节 概述..... 1088

一、数控机床发展概况 1088

二、数控机床的特点 1088

三、数控机床的组成 1088

第二节 机床数字控制

系统..... 1095

一、主要术语及定义 1095

二、数控系统的一般概念 1098

三、数控系统的工作过程 1099

四、数控系统的分类 1101

五、数控机床对伺服系统的要求 1104

第三节 数控系统的选型

和维修 1105

一、数控系统的选型 1105

二、数控机床的维修 1106

第六篇 工厂供电和输配电线路篇**第一章 电力系统与电力网**

1115

第一节 概述..... 1115

一、电力系统 1115

二、电力网 1119

三、工厂电力负载的分级 1119

第二节 供电电能质量

指标..... 1120

一、对供电系统的基本要求 1120

二、电能质量指标 1121

第二章 工厂供电系统

1130

第一节 工厂变配电所 1130

一、工厂变配电所的任务和类型 1130

二、工厂变配电所的主电路 1132

三、变配电所的结构和布置 1140

四、工厂变配电所运行维护 1143

第二节 工厂供电系统的**继电保护** 1147

一、继电保护在电力系统中的作用 1147

二、继电保护装置的基本原理及框图 1148

三、电力变压器和高压电动机的继电保护 1150

四、继电保护装置的运行与维护 1160

第一节 架空线路的构成.....	1163	一、架空导线的选择原则 ...	1177
一、架空线路的主要部件 ...	1163	二、架空线路的安全距离 ...	1181
二、架空线路导线的种类及适用场合	1163	三、电杆埋设深度及电杆高度计算	1186
三、杆塔的种类和使用特点	1164	四、横担的安装要求	1187
四、杆塔拉线的种类及其适用场合	1167	五、拉线的安装要求	1188
五、线路常用绝缘子种类与外观检查	1170	六、导线的固定要求	1190
六、横担的分类和特点	1172	七、架空导线的连接	1191
七、线路金具的分类及用途	1173	第三节 架空线路的运行维修.....	1201
第二节 架空线路的安装要求.....	1177	一、架空线路的巡视检查 ...	1201
		二、架空线路的反事故措施	1202
		三、架空线路的检修	1203
		四、10kV 及以下架空线路常见故障与排除方法	1204

第四章 电力电缆

第一节 电力电缆的结构及选择.....	1207	二、电缆敷设的技术要求 ...	1210
一、电力电缆的种类和结构	1207	三、电缆的连接	1216
二、电力电缆的选择	1208	第三节 电力电缆的运行维修.....	1226
第二节 电力电缆的敷设.....	1210	一、电力电缆的运行管理 ...	1226
一、电缆的敷设方式	1210	二、电力电缆的日常巡视检查	1227
		三、电力电缆的维护修理	1227

第五章 室内外配线和电气照明

第一节 室内外配线的一般要求.....	1232	三、车间裸母线配线方式和要求	1238
一、设计要求	1232	第二节 室内外配线的操作工艺.....	1239
二、导线连接	1235		

一、直敷配线	1239	特性	1256
二、夹板配线	1240	三、电光源的选用	1257
三、槽板配线	1244	第四节 照明灯具的安装	
四、瓷瓶配线	1246	和使用	1260
五、线管配线	1248	一、室内照明灯具的	
第三节 电气照明的技术		布置	1260
要求	1254	二、室内照明灯具的	
一、常用电光源的分类	1254	安装	1263
二、各种电光源的基本技术		三、照明灯具使用注意	
		事项	1268

// 第七篇 安全和节约用电 //

第一章 触电防护技术 1271

第一节 直接接触触电的		防护	1281
防护	1271	一、概述	1281
一、利用绝缘的防护	1271	二、保护接地和保护接零的	
二、利用屏护的防护	1273	一般问题	1281
三、利用间距的防护	1274	三、配电系统的保护接地和	
四、采用安全电压防护	1280	保护接零形式	1294
第二节 间接接触触电的		四、接地装置	1300

第二章 电气防火防爆 1315

第一节 电气防火基础	1315	一、危险物品和危险区域	1320
一、防止电气火灾的措施	1315	二、爆炸危险场所的电气	
二、扑灭电气火灾的方法	1318	设备	1324
第二节 爆炸和火灾危险场		三、火灾危险场所的电气	
所的电气设备	1320	设备	1332
		四、电气防爆措施	1333

第三章 电气工作人员作业的安全措施 1336

第一节 保证安全的组织		三、工作间断、转移、终结	
措施	1336	及送电制度	1340
一、工作票和操作票制度	1336	四、调度管理制度和有关人	
二、工作许可和工作监		员的安全责任	1341
护制度	1339	第二节 保证安全的技术	

措施.....	1341	三、装设临时接地线	1342
一、停电	1341	四、悬挂标示牌和装	
二、验电	1342	设临时遮栏	1343

第四章 电气设备节电技术 1344

第一节 变配电系统		第二节 用电设备节电	1363
节电.....	1344	一、电动机的节电技术	1363
一、变压器节电技术	1344	二、节能型电动机	1372
二、电网运行中的节电		三、工业电加热炉的节	
措施	1351	电技术	1374
参考文献			1381

基础篇

电工基本原理

第一节 线性直流电路

一、电路的重要物理量

(一) 电流

电荷的定向移动就形成了电流。电流的实际方向习惯上指正电荷运动的方向。对于直流,单位时间 t 内通过导体横截面的电荷 [量] Q 是恒定不变的,即

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-1-1)$$

电流的单位是安 [培] (A)。1A 电流指 1 秒 (s) 内通过导体横截面的电荷 [量] 为 1 库 [仑] (C)。电流有时也用千安 (kA)、毫安 (mA) 或微安 (μA) 做单位,其关系为

$$1\text{kA} = 1000\text{A} = 10^3\text{A}$$

$$1\text{A} = 1000\text{mA} = 10^3\text{mA}$$

$$1\text{mA} = 1000\mu\text{A} = 10^3\mu\text{A}$$

在分析电路时,对复杂电路中某一段电路里电流的实际方向有时很难立即判定;有时电流的实际方向还在不断地改变,因此在电路中很难确定电流的实际方向。为此,引入电流“参考方向”这一概念。

在一段电路或一个电路元件中,事先选定一个方向,这个选定的电流方向就叫做电流的参考方向。参考方向可以任意选定,在电路图中用箭头表示;有时也用双下标表示,如 I_{ab} 表示参考方向是由 a 指向 b 的电流。选定的电流参考方向不一定与电流的实际方向一致,当电流的实际方向与参考方向一致时,电流为正值 ($I > 0$),如图 1-1-1 (a) 所示;当电流的实际方向与参考方向相反时,电流为负值 ($I < 0$),如图 1-1-1 (b) 所示。因此,在选定参考方向之后,电流的值才有正负之分;也只有在此条件下,电流的正负才有意义。

① [] 内的字,是在不致混淆的情况下,可以省略的字。以下相同。

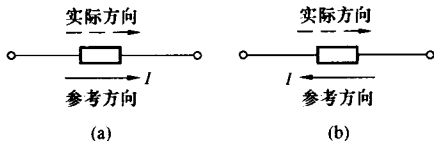


图 1-1-1 电流参考方向与实际方向的关系
(a) 实际方向与参考方向一致; (b) 实际方向与参考方向相反

(二) 电位和电压

1. 电位

图 1-1-2 所示电路中, 把 b 点作为参考点, 则正电荷在 a 点所具有的电位能就等于电场力把正电荷从 a 点经负载 R_L 移到 b 点所做的功。正电荷受电场力作用, 顺着电场的方向移动, 正电荷的电位能逐渐减小, 正电荷失去能量, 把电能转换为其他形式的能量。

正电荷在 a 点所具有的电位能 W_a 与正电荷所带电荷 [量] Q 的比值, 称为电路中 a 点的电位, 用 V_a 表示, 即

$$V_a = \frac{W_a}{Q} \quad (1-1-2)$$

由式 (1-1-2) 可知, 电路中某点相对于参考点电位的大小, 在数值上等于单位正电荷在该点所具有的电位能。

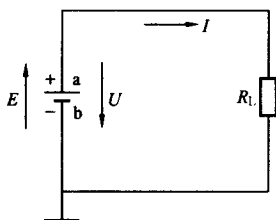


图 1-1-2 b 点为参考点的电路

电位的单位是焦 [耳] / 库 [仑] (J/C), 称为伏 [特] (V)。

电路中某点电位的高低是相对于参考点而言的, 参考点不同, 各点电位的大小也不同。参考点一经选定, 电路中各点的电位就为定值。参考点的电位设为零, 所以参考点又称为零电位点。在电路中电位比参考点电位高的电位为正值, 用 “+” 表示; 电位比参考点电位低电位为负值, 用 “-” 表示。

2. 电压

电路中任意两点间的电位差, 称为这两点间的电压, 用字母 U 表示, 例如 a、b 两点间的电压为

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-1-3)$$

电压是衡量电场力做功能力的物理量, 它在数量上等于单位正电荷受电