

城市轨道交通岗位技能培训教材



YZLI0890112787

信号检修工

XINHAO JIANXIUGONG

人力资源和社会保障部教材办公室 组织编写
广州市地下铁道总公司



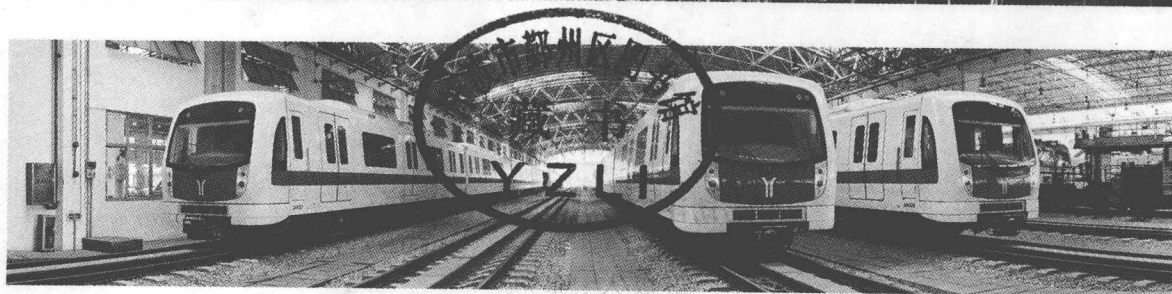
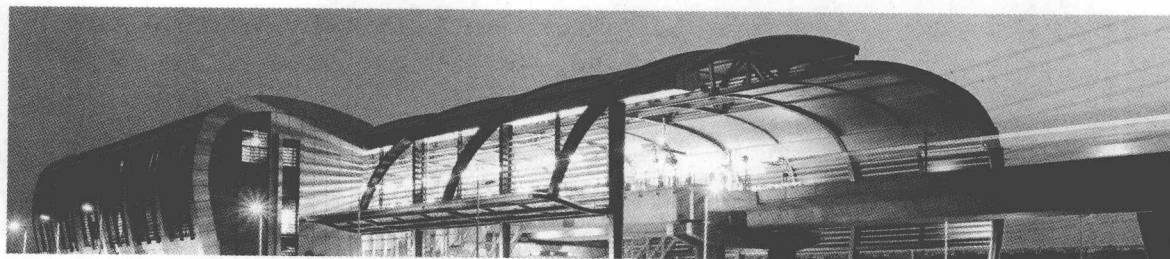
中国劳动社会保障出版社

城市轨道交通岗位技能培训教材

信号检修工

XINHAO JIANXIUGONG

人力资源和社会保障部教材办公室
广州市地下铁道总公司 组织编写



 中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

信号检修工/广州市地下铁道总公司, 人力资源和社会保障部教材办公室组织编写. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2010

城市轨道交通岗位技能培训教材

ISBN 978-7-5045-8606-3

I. ①信… II. ①广…②人… III. ①城市铁路-交通信号-检修-技术培训-教材 IV. ①U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 224226 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出版人: 张梦欣

*

北京市艺辉印刷有限公司印刷装订 新华书店经销
787 毫米×1092 毫米 16 开本 25.25 印张 580 千字

2010 年 11 月第 1 版 2010 年 11 月第 1 次印刷

定价: 49.00 元

读者服务部电话: 010-64929211/64921644/84643933

发行部电话: 010-64961894

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64954652

如有印装差错, 请与本社联系调换: 010-80497374

城市轨道交通岗位技能培训教材

编委会

主任 何霖

副主任 张桂海 蔡昌俊 周大林 刘靖主

朱士友 张海燕 编主稿

委员 肖明 胡铁军 刘利芝 周小南 编

俞军燕 黄平 李晋 王海

潘丽莎 李宇轩 刘菊美 何江海

宋利明 陈通武 詹坤生 校

卡末果 军封防 审主

封春 散景封 审参

城市轨道交通岗位技能培训教材 ——信号检修工

编 审 人 员

主 编 李 晋 周 剑斌 黎 晓东 王 滔 王旭辉
副主编 何泳斌 周剑斌 王滔
编 者 陈展华 陈慧彬 许勇华 张 滔 王旭辉
黎晓东 卢登攀 周剑斌 林伟文 冯圣华
梁碧仪 李永康 张武江 梁民健 克高兵
姚贯岳 孟凡江 林建志 刘婧婧 梁兆华
主 审 胡铁军 梁东升
参 审 桓素娟 袁 健



序

我国城市轨道交通自 1965 年北京地铁一期工程建设开始,经过 40 余年的建设和发展,取得了显著成就,截至 2007 年底全国已有 11 个城市开通了城市轨道交通,总运营里程达 761 千米。当前城市轨道交通正处于大规模高速发展时期,其中以北京、上海、广州为代表的特大城市已进入网络化建设阶段,尚有沈阳、哈尔滨、杭州、西安、成都等 33 个城市正在建设或规划中。实践证明,发展城市轨道交通是解决大城市交通问题的必由之路,对拉动城市社会经济发展也起到了重要的作用。

城市轨道交通作用的发挥,依靠系统的安全和高效运营。然而,城市轨道交通系统设备先进、结构复杂,高新技术应用越来越普及,要保障这样庞大系统的安全和高效,必须依靠与之相协调的高素质的人员。轨道交通行业职工队伍中一半以上是技术工人,他们是企业的主体,他们的素质高低直接关系到企业的生存和发展。因此,企业必须拥有一支高素质的技术工人队伍,培养一批技术过硬、技艺精湛的能工巧匠,才能确保安全生产,提高工作效率,提升非正常情况下的应急应变能力。

岗位技能培训是人才培养的重要途径,是提高企业核心竞争力的重要手段,而岗位技能培训的过程和结果需要适合的培训教材作为技术支撑,广州市地下铁道总公司在多年的实践中对这方面有深切的感受。教材的缺乏使我们下定决心依靠自己的力量编写教材,于是从 1997 年至 2007 年我们陆续编印了 51 种岗位技能培训内部教材,对广州市地下铁道总公司的职工技术培训、职业技能鉴定提供了强有力的技术支持。

2006 年底原国家劳动和社会保障部张小建副部长在看到我们的自编教材后积极肯定,并鼓励我们充分发挥企业的优势把教材推向全国以飨国内同行,为我国城市轨道交通事业的发展作出贡献。为了落实部领导的指示,我们与人力资源和社会保障部教材办公室合作,在对国内城市轨道交通行业进



行广泛调研的基础上,按照相关国家职业标准的要求,调整、规范了岗位名称,推出了系列“城市轨道交通岗位技能培训教材”,涉及站务员、列车司机、车辆检修工、机电设备检修工、变电设备检修工、接触网检修工、通信检修工、信号检修工、自动售检票系统检修工等岗位,同时配备《城市轨道交通概论》、《城市轨道交通运营安全》等通用教材。

“城市轨道交通岗位技能培训教材”由广州市地下铁道总公司组织从事城市轨道交通建设和运营管理的专家编写。在教材内容方面,力求技术和操作的全面、完整,在注重操作的基础上,尽可能将理论问题讲解清楚,并在表达上能够深入浅出。该系列教材既可以作为各技能鉴定单位开展城市轨道交通行业工种鉴定的依据,又可作为城市轨道交通管理部门运营和设备检修人员的岗位技能培训教材,还可作为大、中专院校相应专业师生用书。

在全国普遍缺乏轨道交通行业岗位技能培训教材的情况下,广州市地下铁道总公司带着时代赋予的使命感和高度的责任感,填补了这一空白,祝愿每位立志于轨道交通事业的同仁都能学有所获、握有所长,在自己的岗位上创出优异的业绩。

城市轨道交通岗位技能培训教材 编委会



前言

随着科学技术和城市化的发展,大运量的城市轨道交通在现代城市中起着越来越重要的作用。在我国,随着低碳经济建设和国内经济形势的需要,城市轨道交通建设正面临着前所未有的发展机遇,在建或已批准建设轨道交通的城市达 22 个,还有一些城市在批准中,呈现出十分广阔的前景。

城市轨道交通的各种系统中,信号系统是至关重要的设备,是一个安全和效率系统,起到保证列车和乘客的安全,实现列车高速、有序运行的作用,其运行的稳定程度直接影响整个线路的运行组织,甚至整个城市的运作。

轨道交通信号系统技术含量高,具有网络化、自动化的系统技术特征。本书旨在满足城市轨道交通发展对轨道交通运营企业职工队伍技能培训的需要,使从事城市轨道交通信号系统维护检修工作的广大信号检修工能够掌握现代信号系统的基本知识和基本技能,提高维修技能水平。

本书密切结合城市轨道交通的实际情况,介绍了近年来国内城市轨道交通普遍应用的信号设备的功能、构成、工作原理、故障案例以及所需要的维护检修技能。全书以信号检修工作为培训目标,前 6 章是相关基础知识的介绍,后 14 章是专用设备(子系统)的介绍,专用设备(子系统)按照专业知识、操作与维护两大线索展开。其中,专业知识方面重点介绍城市轨道交通信号检修工岗位需要掌握的信号系统功能、工作原理、结构组成、接口以及安全风险,使初、中、高各级信号检修工明晰各自岗位应具备的知识,达到本岗位相关基础理论知识的培训要求,为掌握维修技能打下理论基础;操作与维护方面则是结合设备维修、维护的实际,详细介绍常用仪器仪表使用、设备操作、设备图样、故障处理,力求满足技能培训的实操性要求。本书既重视理论,更重视实践,具有较强的培训操作性。



由于城市轨道交通通信技术发展快、技术新，资料收集齐全较为困难，加之编写人员技术水平和实践经验的局限性，书中存在错误与不足之处在所难免，恳望读者和同行批评指正，为我国城市轨道交通事业的发展共尽绵薄之力。

广州市地下铁道总公司

城市轨道交通信号系统作为城市轨道交通的重要组成部分，其发展水平直接关系到城市轨道交通的运营效率和安全性。随着城市轨道交通的快速发展，信号系统面临着越来越多的挑战。本书旨在介绍城市轨道交通信号系统的基本原理、组成、应用及维护方法，为从事城市轨道交通信号系统工作的技术人员提供参考。

本书共分五章。第一章介绍城市轨道交通信号系统的发展概况、分类及特点；第二章介绍城市轨道交通信号系统的基本组成及各组成部分的功能；第三章介绍城市轨道交通信号系统的控制方式及控制设备；第四章介绍城市轨道交通信号系统的维护方法及故障处理；第五章介绍城市轨道交通信号系统的安全防护措施。

本书可作为城市轨道交通信号系统专业及相关专业的教材，也可供从事城市轨道交通信号系统工作的技术人员参考。



目 录

第一章 电工电子基础知识及电工安全 // 1

- 第一节 电工电路技术基础 // 1
- 第二节 电子电路技术基础 // 13
- 第三节 数字电路基础知识 // 18
- 第四节 电工安全 // 21

第二章 计算机及网络基础知识 // 26

- 第一节 计算机组成 // 26
- 第二节 计算机网络基础 // 28
- 第三节 计算机及网络设备维护 // 32

第三章 通用维修工具及仪器仪表的使用 // 38

- 第一节 电工常用维修工具 // 38
- 第二节 常用仪器仪表 // 44

第四章 城市轨道交通信号运行与管理 // 52

- 第一节 列车自动控制系统 // 52
- 第二节 信号安全管理 // 60
- 第三节 质量管理 // 67
- 第四节 生产组织 // 73
- 第五节 故障处理管理 // 74

第五章 信号设备防雷与接地装置检修 // 78

- 第一节 防雷装置 // 78
- 第二节 接地装置 // 81

28 // 城市轨道交通信号设备检修 第六章

28 // 继电 节一第

88 // 继电保护 节二第

10 // 继电 节三第

80 // 城市轨道交通信号设备检修 第七章

80 // 城市轨道交通信号设备检修 节一第

101 // 城市轨道交通信号设备检修 节二第

111 // 城市轨道交通信号设备检修 第八章

111 // 城市轨道交通信号设备检修 节一第

111 // 城市轨道交通信号设备检修 节二第

131 // 城市轨道交通信号设备检修 第九章

131 // 城市轨道交通信号设备检修 节一第

131 // 城市轨道交通信号设备检修 节二第

141 // 城市轨道交通信号设备检修 节三第

140 // 城市轨道交通信号设备检修 第十章

140 // 城市轨道交通信号设备检修 节一第

150 // 城市轨道交通信号设备检修 节二第

150 // 城市轨道交通信号设备检修 节三第

160 // 城市轨道交通信号设备检修 第十一章

160 // 城市轨道交通信号设备检修 节一第

170 // 城市轨道交通信号设备检修 节二第

180 // 城市轨道交通信号设备检修 节三第

190 // 城市轨道交通信号设备检修 第十二章

190 // 城市轨道交通信号设备检修 节一第

200 // 城市轨道交通信号设备检修 节二第

210 // 城市轨道交通信号设备检修 节三第

220 // 城市轨道交通信号设备检修 节四第

230 // 城市轨道交通信号设备检修 第十三章

230 // 城市轨道交通信号设备检修 节一第



第六章 信号电缆与光缆检修 // 85

第一节 电缆 // 85

第二节 同轴电缆 // 88

第三节 光缆 // 91

第七章 不间断电源检修 // 98

第一节 不间断电源工作原理与应用 // 98

第二节 不间断电源的运行与维修 // 105

第八章 信号电源系统检修 // 111

第一节 信号电源工作原理与应用 // 111

第二节 信号电源系统运行与维修 // 116

第九章 继电器检修 // 123

第一节 继电器概述 // 123

第二节 继电器应用 // 131

第三节 继电器运行与维修 // 141

第十章 信号机检修 // 146

第一节 信号机工作原理与应用 // 146

第二节 常用信号机及其主要电路 // 150

第三节 信号机运行与维修 // 159

第十一章 轨道空闲检测设备检修 // 165

第一节 轨道空闲检测设备概述 // 165

第二节 典型轨道空闲检测设备 // 170

第三节 轨道空闲检测设备操作与维修 // 182

第十二章 转辙装置检修 // 198

第一节 转辙装置结构与工作原理 // 198

第二节 转辙装置电路 // 220

第三节 转辙装置安装与调整 // 232

第四节 转辙装置维修 // 246

第十三章 信号联锁系统检修 // 262

第一节 信号联锁系统结构与工作原理 // 262

第一章 信号工安全工器具使用 // 1

1.1 信号工安全工器具使用 // 1

1.2 信号工安全工器具使用 // 1

1.3 信号工安全工器具使用 // 1

1.4 信号工安全工器具使用 // 1

第二章 信号工安全工器具使用 // 1

2.1 信号工安全工器具使用 // 1

2.2 信号工安全工器具使用 // 1

2.3 信号工安全工器具使用 // 1

第三章 信号工安全工器具使用 // 1

3.1 信号工安全工器具使用 // 1

3.2 信号工安全工器具使用 // 1

第四章 信号工安全工器具使用 // 1

4.1 信号工安全工器具使用 // 1

4.2 信号工安全工器具使用 // 1

4.3 信号工安全工器具使用 // 1

4.4 信号工安全工器具使用 // 1

4.5 信号工安全工器具使用 // 1

第五章 信号工安全工器具使用 // 1

5.1 信号工安全工器具使用 // 1

5.2 信号工安全工器具使用 // 1

- 第二节 信号联锁系统的功能 // 266
- 第三节 信号联锁表解读 // 276
- 第四节 信号联锁系统操作与维修 // 284

第十四章 列车自动防护系统检修 // 290

- 第一节 ATP 系统的组成与工作原理 // 290
- 第二节 ATP 系统运行与维修 // 300

第十五章 列车自动驾驶系统检修 // 307

- 第一节 ATO 系统功能与工作原理 // 307
- 第二节 ATO 系统运行与维修 // 313

第十六章 定位及车—地通信设备检修 // 318

- 第一节 定位及车—地通信设备功能与工作原理 // 318
- 第二节 定位及车—地通信设备维修 // 330

第十七章 列车自动监督系统检修 // 337

- 第一节 ATS 系统功能与工作原理 // 337
- 第二节 ATS 系统运行与维修 // 348

第十八章 计算机操作系统检修 // 352

- 第一节 计算机操作系统的功能与工作原理 // 352
- 第二节 计算机操作系统维修 // 362

第十九章 列车自动监督系统网络设备检修 // 366

- 第一节 ATS 系统网络技术 // 366
- 第二节 ATS 系统网络设备维修 // 375

第二十章 显示设备检修 // 378

- 第一节 显示设备结构与工作原理 // 378
- 第二节 显示设备维修 // 380

附录 信号检修工技能考核要求 // 382

参考文献 // 392

第一章

电工电子基础知识及电工安全

第一节 电工电路技术基础

一、电路的基本定律

1. 欧姆定律

欧姆定律 流过电阻的电流与电阻两端的电压成正比，用公式表示为：

$$R = U/I \quad (1-1)$$

电阻的单位是欧姆 (Ω)，电流是安培 (A)，电压是伏特 (V)。它表明：

(1) U 一定时，电阻 R 越大，则电流越小，因此电阻 R 具有对电流阻碍的作用。

(2) 流过电阻的电流与电阻两端的电压成正比，遵循欧姆定律的电阻称为线性电阻。

电压和电流是具有方向的物理量，如图 1—1 所示。

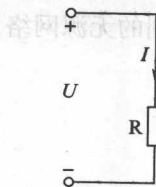


图 1—1 欧姆定律

2. 基尔霍夫定律

(1) 基尔霍夫电流定律。在任一瞬时，流向某一结点的电流之和等于流出该结点的电流之和，即在任一瞬时，一个结点上电流的代数和恒等于零。即：

$$\sum I = 0 \quad (1-2)$$

电路中三条或三条以上的支路相连接的点称为结点。电路中的每一分支称为支路，支路是构成结点的基础，支路中流过的电流，称为支路电流。如图 1—2 所示的电路中，共有三个支路，为 ab 、 acb 、 adb ；有两个结点： a 和 b 。结点 a 的结点方程为：

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0。$$

基尔霍夫电流定律也可以应用于包围部分电路的任一假设的闭合面。如图 1—3 所示，具体表述如下：在任一瞬时，通过任一闭合面的电流的代数和恒等于零，或者在任一瞬时，流向某一闭合面的电流之和等于由闭合面流出的电流之和。

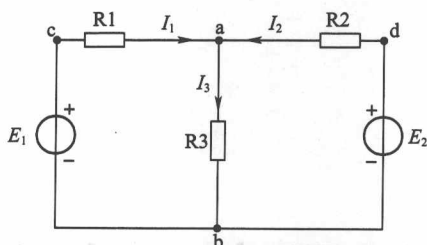


图 1—2 基尔霍夫电流定律示例

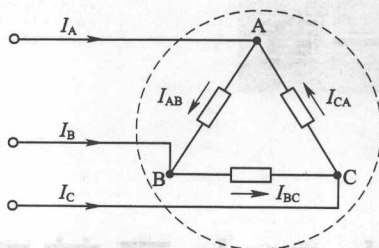


图 1—3 基尔霍夫电流定律举例

在图 1—3 所示电路中，闭合面包围的是一个三角形电路， I_A 、 I_B 、 I_C 为流入电流，根据结点定义，有 A、B、C 三个结点，应用基尔霍夫电流定律列出如下方程：

$$I_A = I_{AB} - I_{CA}$$

$$I_B = I_{BC} - I_{AB}$$

$$I_C = I_{CA} - I_{BC}$$

将上面三式相加，使得：

$$I_A + I_B + I_C = 0$$

(2) 基尔霍夫电压定律。在任一瞬时，沿任一回路循行方向（顺时针方向或逆时针方向），回路中各段电压的代数和恒等于零。即：

$$\sum U = 0 \quad (1-3)$$

3. 戴维南定理

戴维南定理 任何一个有源二端线性网络（见图 1—4a），对外电路而言都可以用一个电动势为 E 的理想电源和内阻 R_0 串联的等效电路代替（见图 1—4b），且电动势 E 的值为负载开路电压 U_0 ，内阻 R_0 为除去有源二端线性网络中所有电源（电流源开路、电压源短路）后得到的无源网络 a、b 两端之间的等效电阻。如图 1—4b 所示，支路电流方程为：

$$I = E / (R_0 + R_L) \quad (1-4)$$

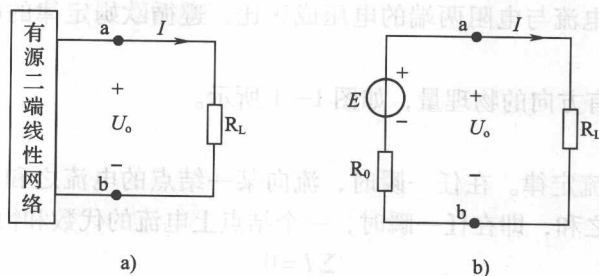


图 1—4 戴维南定理
a) 有源二端线性电路 b) 有源等效电路

用戴维南定理求解电路的解题步骤如下：

- (1) 分析电路，选取待求支路，设定待求支路的参考电压或电流方向；
- (2) 将待求支路开路，画出电路图，求出开路电压 U_0 ；
- (3) 将待求支路开路，断开所有电源（电流源开路、电压源短路），画出电路图，求出无源网络 a、b 两端之间的等效电阻 R_0 ；

(4) 画出戴维南等效电路, 求支路电流 I , 计算最终结果。

4. 诺顿定理

诺顿定理 任何一个有源二端线性网络都可以用一个电流为 I_s 的理想电源和内阻 R_0 并联来表示。等效电源的电流 I_s 为有源二端线性网络的短路电流, 内阻 R_0 为除去有源二端线性网络中所有电源 (电流源开路、电压源短路) 后得到的无源网络 a、b 两端之间的等效电阻, 如图 1—5 所示。

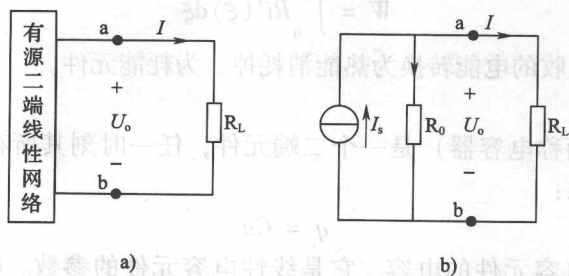


图 1—5 诺顿定理

a) 有源二端线性电路 b) 有源等效电路

图 1—5a 中的支路电流 I 为:

$$I = I_s R_0 / (R_0 + R_L) \quad (1-5)$$

二、三种基本电路元件

1. 电阻

电阻是对电流有阻碍作用的一种元件, 用大写字母 R 表示, 单位为欧姆 (Ω)。电阻的大小与导体的材料及材料的尺寸有关, 即:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S} \quad (1-6)$$

式中 ρ ——电阻率, 是描述导电材料对电流起阻碍作用的物理量, $\Omega \cdot \text{m}$;

L ——导体的长度, m ;

S ——导体的截面积, m^2 。

常用导电材料的电阻率和温度系数见表 1—1。

表 1—1

常用导电材料的电阻率和温度系数

材料名称	20℃时的电阻率 ρ ($10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$)	平均温度系数 X (0~100℃), ($1/^\circ\text{C}$)	材料名称	20℃时的电阻率 ρ ($10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$)	平均温度系数 X (0~100℃), ($1/^\circ\text{C}$)
银	0.015 9	0.003 8	康铜	0.4~0.51	0.000 005
铜	0.016 9	0.004 6	锰铜	0.42	0.000 006
铝	0.026 5	0.004 23	黄铜	0.07~0.08	0.002
铁	0.097 8	0.005 0	镍铬合金	1.1	0.000 15
钨	0.054 8	0.004 5	铁铬铌合金	1.4	0.000 28
钢	0.13~0.25	0.006	—	—	—



电阻的倒数称为线性电阻元件的电导,用大写字母 G 表示,即 $G = 1/R$,电导的单位是西门子 (S)。 R 、 G 都是线性电阻元件的参数。

在电压与电流关联参考方向下,任意时刻二端元件两端的电压和电流的关系服从欧姆定律。

电阻元件消耗的功率为:

$$p = ui = Ri^2 = u^2/R \quad (1-7)$$

电阻元件从 $0 \sim t$ 的时间吸收的电能为:

$$W = \int_0^t Ri^2(\xi) d\xi$$

电阻元件一般把吸收的电转换为热能消耗掉,为耗能元件。

2. 电容

线性电容元件 (简称电容器) 是一个二端元件,任一时刻其所存储电荷 q 和端电压 u 之间具有如下线性关系:

$$q = Cu \quad (1-8)$$

式中, C 为线性电容元件的电容,它是线性电容元件的参数。电容的单位为法 [拉] (F)。由于法 [拉] 单位太大,工程上常采用微法 (μF) 或皮法 (pF)。它们的换算关系为:

$$1 F = 10^6 \mu F \quad 1 \mu F = 10^6 pF$$

电容器的伏安特性为:

$$i(t) = \frac{dCu}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1-9)$$

电容器的容抗为:

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC} \quad (1-10)$$

3. 电感

电感元件是线圈的理想化模型,线性电感元件 (简称电感器) 是一个二端元件,任一时刻,其磁通量 Φ 与电流 i 之间具有如下线性关系:

$$\Phi = Li$$

式中, L 为线性电感元件的电感,它是线性电感元件的参数,电感的单位是亨 [利] (H) 或毫亨 [利] (mH)。

$$1 H = 10^3 mH$$

电感器的伏安特性为:

$$u = \frac{d\Phi}{dt} = \frac{d(Li)}{dt} = L \frac{di}{dt} \quad (1-11)$$

电感器的感抗为:

$$X_L = \omega L = 2\pi fL \quad (1-12)$$

电感元件不消耗所吸收的能量,是一种储能元件。

三、三相电路

1. 三相交流发电机的组成

目前,交流电在动力方面的应用几乎都是属于三相制。工业用的交流电动机大多数是三

相交流电动机, 日常生活用的单相电动机也是三相交流电的一部分。

三相交流发电机的组成原理示意如图 1—6 所示。三相交流发电机主要由电枢和磁极两大部分组成; 电枢是固定不动的, 故称为定子; 磁极是转动的, 故称为转子。这种三相交流发电机, 称为旋转磁极式发电机。

转子是一个磁极, 它以角速度 ω 旋转。定子是不动的, 在定子的槽中嵌有三组同样的绕组 (线圈), 即 UX、VY、WZ, 每组称为一相, 分别称为 U 相、V 相和 W 相。它们的始端标以 U、V、W, 末端标以 X、Y、Z, 要求绕组的始端之间或末端之间彼此相隔 120° 。同时, 工艺上保证定子与转子之间磁感应强度沿定子内表面按正弦规律分布, 最大值在转子磁极的北极 N 和南极 S 处。这样, 当转子以角速度 ω 顺时针旋转时, 在各相绕组的始端和末端都产生随时间按正弦规律变化的感应电压。

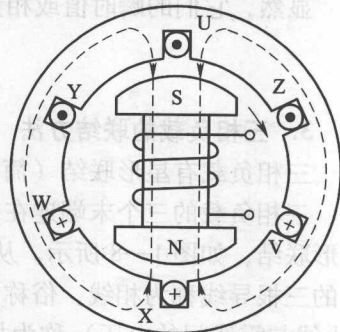


图 1—6 三相交流发电机的原理示意图

2. 三相电压及其特点

三相交流发电机产生的电压频率相同、幅值相同, 彼此间的相位相差 120° , 相当于三个独立的正弦电源。三相电源的各相电压分别为:

$$\left. \begin{aligned} u_U &= \sqrt{2}U\sin\omega t \\ u_V &= \sqrt{2}U\sin(\omega t - 120^\circ) \\ u_W &= \sqrt{2}U\sin(\omega t + 120^\circ) \end{aligned} \right\} \quad (1-13)$$

以 U 相电压 U_U 作为参考相量, 则它们的相量为:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_U &= \angle 0^\circ \\ \dot{U}_V &= U \angle -120^\circ = U \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \\ \dot{U}_W &= U \angle 120^\circ = U \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \end{aligned} \right\} \quad (1-14)$$

三个频率相同、幅值相同、彼此相位相差 120° 的电压, 称为对称三相电压。其相量图及波形如图 1—7 所示。

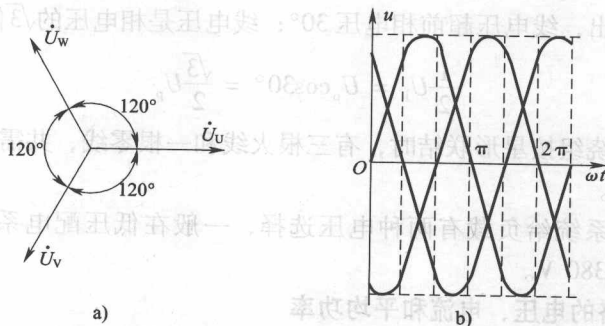


图 1—7 三相电压

a) 相量图 b) 波形图