

新编电子电工技术快速入门丛书

XINBIANDIANZIDIANGONGJISHUKUAI SURUMENCONGSHU

电动机修理 快速入门

翟西山 韩朝光 程一琦 滕辉 主编

金正 丁洪起 主审

DIANDONGJIXIULIKUAI SURUMEN

本书的最大特点：一是通俗易懂。书中完全摒弃了难懂的定义、定理，配合形象直观的插图，使具有初中文化程度的广大青年看得懂、学得会。二是实用性强。在介绍每种电动机的修理时，重点讲述如何根据故障发生的原因，采取恰当的方法排除故障。三是内容全面。书中介绍的内容基本涵盖了修理电动机应具备的基本知识、基本操作方法及日常遇到的各类电动机的修理方法和技巧等。

DzDg



山东科学技术出版社 www.lkj.com.cn

新编电子电工技术快速入门丛书

XINBIANDIANZIDIANGONGJISHUKUAI SURUMENCONGSHU

翟西山 韩朝光 程一琦 滕 辉 主编

金 正 丁洪起 主审

电动机修理快速入门

DIANDONGJIXIULIKUAI SURUMEN

 山东科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

电动机修理快速入门/金正等主编. —济南:山东科学技术出版社,2008

ISBN 978-7-5331-5049-5

I. 电... II. 金... III. 电动机—修理 IV. TM320.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 123144 号

新编电子电工技术快速入门丛书

电动机修理快速入门

翟西山 韩朝光 主编
程一琦 滕 辉
金正 丁洪起 主审

出版者:山东科学技术出版社

地址:济南市玉函路 16 号

邮编:250002 电话:(0531)82098088

网址:www.lkj.com.cn

电子邮件:sdkj@sdpress.com.cn

发行者:山东科学技术出版社

地址:济南市玉函路 16 号

邮编:250002 电话:(0531)82098071

印刷者:莱芜市正顺印务有限公司

地址:莱芜市莱城区工业园

邮编:271114 电话:(0634)6552188

开本:720mm×1020mm 1/16

印张:20.5

版次:2008 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

ISBN 978-7-5331-5049-5

定价:29.00 元

《新编电子电工技术快速入门丛书》编委会

主 审 金 正 丁洪起

主 编 翟西山 韩朝光 程一琦 滕 辉

副主编 郑 雯 杨和利 纪姝羽 赵晓静 王美亭

张晓滨 邹志军 张 剑

编 委 (以姓氏笔画为序)

丁洪起 王永庆 王美亭 孙 明 纪姝羽

刘荣良 邹志军 张 剑 张晓滨 李梦秋

金 正 杨和利 郑 雯 品建国 赵晓静

崔振华 程一琦 韩朝光 翟西山 滕 辉

前 言

随着我国经济的快速发展,各种电动机的应用日益广泛,电动机的修理量越来越大,相关修理人员的需求也越来越大,广大青年朋友非常渴望掌握电动机的修理技术。为帮助具有初中以上文化程度的青年在最短的时间内掌握这门技术,编者结合自己多年从事电动机修理的经验,编写了这本《电动机修理快速入门》。

本书重点介绍了单相与三相交流电动机、普通中小型直流电动机、电动自行车用永磁直流电动机与防爆、牵引、制动、电磁调速、交流换向等特种电动机及手电钻、冲击钻、锤钻、潜水泵、自吸泵的主要结构与各部分的作用、故障判断与检测方法,以及常见故障修理方法;简要介绍了交流电的基本知识、电动机的种类及其性能特点、主要技术指标的意义、使用与维护常识、定子绕组的简易计算方法。除此之外,对修理电动机所需要的基础知识、常用工具、仪表、材料的性能与选用注意事项也作了有针对性的介绍。

本书的最大特点是:一是通俗易懂。书中完全摒弃繁杂的计算公式和难懂的定义、定理,配合形象、直观的插图,使具有初中文化程度的广大青年看得懂、学得会。二是实用性强。在介绍每种电动机的修理时,重点讲述如何根据故障现象推断或检测故障部位及故障发生的原因,进而采取恰当的方法排除故障,修好设备。三是内容全面、科技含量高。书中介绍的内容基本涵盖了修理电动机应具备的基本知识、基本操作方法及日常遇到的各类电动机的修理方法、修理技巧等。

本书主要供电动机修理人员及广大城乡具有初中以上文化程度、有志从事电动机修理的青年阅读,也可作为初级电工的培训教材及职业高中、技工学校相关专业的参考资料。

由于编者水平有限,书中难免有错误与不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第一篇 基础知识

第 1 章 交流电基础知识 /2

- 1.1 物体的导电性 /2
 - 1.1.1 导体、绝缘体与半导体 /2
 - 1.1.2 导体的电阻与电阻率 /3
- 1.2 电路与欧姆定律 /4
 - 1.2.1 电路 /4
 - 1.2.2 电流与电压 /4
 - 1.2.3 欧姆定律 /5
- 1.3 电磁感应与左、右手定则 /6
 - 1.3.1 磁场与磁力线 /6
 - 1.3.2 电流的磁现象与电磁感应 /7
 - 1.3.3 右手定则与左手定则 /8
- 1.4 交流电 /9
 - 1.4.1 交流电的产生 /9
 - 1.4.2 交流电的周期与频率 /11
 - 1.4.3 交流电的有效值、最大值与平均值 /12
 - 1.4.4 交流电的电功率与电功 /12
- 1.5 单相交流电与三相交流电 /13
 - 1.5.1 单相交流电 /13
 - 1.5.2 三相交流电 /13
 - 1.5.3 380 V/220 V 交流电源 /14
- 1.6 三相负载的 Y 形连接与 Δ 连接 /16
 - 1.6.1 三相负载的 Y 形连接 /16
 - 1.6.2 三相负载的 Δ 连接 /17
 - 1.6.3 三相平衡负载 Y / Δ 连接时电压、电流的数值关系 /17

1.7 电阻串联或并联时的电流、电压关系 /18

第2章 电动机工作原理与运行特点 /19

2.1 三相交流异步电动机 /19

2.1.1 基本结构与旋转过程 /19

2.1.2 运行特点 /21

2.2 单相交流异步电动机 /22

2.2.1 基本结构与旋转过程 /22

2.2.2 正、反转控制与转速调整 /24

2.3 普通中、小型直流电动机 /25

2.3.1 基本结构与旋转过程 /25

2.3.2 运行特点 /26

2.4 电动自行车用直流电动机 /27

2.4.1 种类与特点 /27

2.4.2 基本结构与旋转过程 /27

第3章 常用电动机种类与性能 /31

3.1 电动机种类 /31

3.2 电动机性能 /35

第4章 电动机型号命名方法与主要技术指标 /42

4.1 电动机型号命名方法 /42

4.1.1 单相、三相交流异步电动机 /42

4.1.2 普通中、小型直流电动机 /44

4.1.3 电动自行车用直流电动机 /45

4.2 电动机主要技术参数 /47

4.2.1 电动机铭牌 /47

4.2.2 交流异步电动机 /48

4.2.3 普通中、小型直流电动机 /51

4.2.4 电动自行车用直流电动机 /51

第5章 电动机结构与各部分的作用 /53

5.1 概述 /53

5.2 交流异步电动机 /54

5.2.1 三相交流异步电动机 /54

5.2.2 单相交流异步电动机 /63

5.3 普通中、小型直流电动机 /63

5.3.1 机壳 /63

- 5.3.2 定子与转子 /64
- 5.3.3 换向器与电刷装置 /66
- 5.4 电动自行车用永磁直流电动机 /67
- 第6章 交流异步电动机安装与维护 /68**
 - 6.1 安装与接线 /68
 - 6.2 直接启动与降压启动 /72
 - 6.2.1 直接启动 /72
 - 6.2.2 降压启动 /73
 - 6.3 正、反转控制与制动 /75
 - 6.3.1 正、反转控制 /75
 - 6.3.2 制动 /76
 - 6.4 日常维护与常见故障检修方法 /76
 - 6.4.1 日常维护 /76
 - 6.4.2 常见故障与检修方法 /79
- 第7章 电动机修理常用工具和仪表介绍 /82**
 - 7.1 电动机修理常用工具 /82
 - 7.1.1 螺丝刀、电工钳、尖嘴钳、电工刀与鑿子 /82
 - 7.1.2 压脚、万能模板、绕线机与游标卡尺 /83
 - 7.1.3 验电笔 /85
 - 7.1.4 电烙铁 /86
 - 7.1.5 绝缘手套和绝缘垫 /87
 - 7.2 常用便携式电工仪表 /88
 - 7.2.1 钳形电流表与钳形漏电流表 /88
 - 7.2.2 摇表 /90
 - 7.2.3 指针式万用电表 /92
 - 7.2.4 数字式万用电表 /97

第二篇 电动机修理

第8章 电动机故障检测与拆卸方法 /102

- 8.1 概述 /102
 - 8.1.1 电动机修理一般顺序 /102
 - 8.1.2 电动机内部与外部故障的判断方法 /103
 - 8.1.3 电动机修理前的检测内容与注意事项 /103
- 8.2 电动机绕组常见故障检测方法 with 注意事项 /106

- 8.2.1 定、转子绕组之间及其对机壳绝缘情况检测方法 /106
- 8.2.2 定、转子绕组“接地(机壳)”故障与“接地点”检测方法 /108
- 8.2.3 定、转子绕组断路故障与断路点检测方法 /110
- 8.2.4 定、转子绕组短路故障与短路点检测方法 /111
- 8.2.5 定子绕组首、尾端检测方法 /114
- 8.2.6 定子绕组各线圈间 Y/△接线检测方法 /116
- 8.2.7 交流异步电动机磁极对数检测方法 /118
- 8.2.8 单相交流异步电动机主、副绕组检测方法 /119
- 8.2.9 转子断条或绕组短路故障检测方法 /120
- 8.3 电动机拆卸顺序与常用拆卸方法 /120
- 8.3.1 电动机拆卸顺序 /120
- 8.3.2 常用拆卸方法 /121

第9章 三相交流异步电动机常见故障与修理方法 /124

- 9.1 电动机运行现场常见故障修理方法 /124
- 9.1.1 电动机运行现场修理注意事项 /124
- 9.1.2 电动机启动时不转的常见原因与修理方法 /125
- 9.1.3 电动机运行中常见异常情况及应急处理方法 /128
- 9.2 三相交流电动机的常见故障与修理方法 /128
- 9.2.1 运行声音异常的常见原因与修理方法 /128
- 9.2.2 “扫膛”的常见原因与转轴机械故障的修理方法 /130
- 9.2.3 温升超过正常值或冒烟的常见原因与修理方法 /130
- 9.2.4 外壳带电、绕组绝缘不良的常见原因与修理方法 /132
- 9.2.5 运行电流异常的常见原因与修理方法 /133
- 9.2.6 转速偏低的常见原因与修理方法 /134
- 9.2.7 鼠笼式转子“断条”的常见原因与修理方法 /135
- 9.2.8 集电环(滑环)、电刷的常见故障与修理方法 /137
- 9.2.9 电刷、集电环的研磨与车修方法 /138
- 9.2.10 轴承的常见故障与修理方法 /139
- 9.3 定子绕组部分修理方法 /141
- 9.4 定子绕组重绕修理方法 /142
- 9.4.1 线圈绕制准备工作 /143
- 9.4.2 线圈绕制 /146
- 9.4.3 线圈嵌放与接线 /146
- 9.4.4 试装配与试运转 /155
- 9.4.5 烘干与浸漆 /156

- 9.5 电动机组装、测试与试运行 /160
 - 9.5.1 电动机组装 /160
 - 9.5.2 电动机测试 /162
 - 9.5.3 电动机空载试车 /163
- 第 10 章 单相交流异步电动机常见故障及修理方法 /166**
 - 10.1 单相交流异步电动机常见故障、造成原因与修理方法 /166
 - 10.2 小功率三相交流异步电动机改单相运行 /167
 - 10.3 单相交流异步电动机正、反转控制 /169
- 第 11 章 特种电动机常见故障与修理方法 /170**
 - 11.1 交流换向器电动机 /170
 - 11.2 电磁调速三相异步电动机 /173
 - 11.3 牵引电动机 /174
 - 11.4 制动异步电动机 /175
 - 11.5 防爆电动机 /176
- 第 12 章 潜水泵与自吸泵常见故障与修理方法 /178**
 - 12.1 潜水泵 /178
 - 12.1.1 结构与各部分的作用 /178
 - 12.1.2 型号命名方法 /181
 - 12.1.3 主要技术指标与选用注意事项 /181
 - 12.1.4 常见故障与修理方法 /189
 - 12.2 自吸泵 /190
 - 12.2.1 结构与吸水过程 /190
 - 12.2.2 使用注意事项与常见故障修理方法 /191
- 第 13 章 手电钻、冲击钻、锤钻常见故障与修理方法 /194**
 - 13.1 种类、特点与使用注意事项 /194
 - 13.1.1 种类与性能特点 /194
 - 13.1.2 使用注意事项与日常维护 /196
 - 13.2 结构与常见故障修理方法 /199
 - 13.2.1 结构与各部分的作用 /199
 - 13.2.2 常见故障与修理方法 /204
- 第 14 章 直流电动机常见故障与修理方法 /208**
 - 14.1 普通中、小型直流电动机 /208
 - 14.1.1 拆卸注意事项 /208
 - 14.1.2 常见故障与修理方法 /208

- 14.1.3 空载试车注意事项 /213
- 14.2 电动自行车用直流电动机 /215
 - 14.2.1 常见故障与修理方法 /215
 - 14.2.2 电动机接通电源后不转动的检修流程 /218
 - 14.2.3 无刷电动机霍尔元件检测与更换注意事项 /219
 - 14.2.4 电动机空载电流测量方法 /219

第三篇 常用材料、图表、计算公式

第15章 电工材料 /221

- 15.1 电动机引接线与电磁线 /221
 - 15.1.1 引接线 /221
 - 15.1.2 电磁线 /222
- 15.2 绝缘材料 /243
 - 15.2.1 绝缘材料的型号命名方法与种类 /243
 - 15.2.2 常用绝缘材料性能 /246
- 15.3 熔丝与熔体 /252
 - 15.3.1 常用熔丝形状与规格 /252
 - 15.3.2 电动机配用熔丝规格 /254

第16章 轴承与润滑脂 /256

- 16.1 轴承 /256
- 16.2 润滑脂 /257

第17章 常用电动机技术数据 /258

- 17.1 三相交流异步电动机 /258
 - 17.1.1 通用技术数据 /258
 - 17.1.2 JO2 系列三相交流异步电动机 /261
 - 17.1.3 JO3 系列三相交流异步电动机 (铜丝) /266
 - 17.1.4 JO3 系列三相交流异步电动机 (铝线) /269
 - 17.1.5 Y 系列三相交流异步电动机 /274
- 17.2 单相交流异步电动机 /283
 - 17.2.1 JX、JY、JZ 老系列单相交流异步电动机 /283
 - 17.2.2 JX、JY、JZ 新系列单相交流电阻启动异步电动机 /286
 - 17.2.3 BO、BO2 系列单相电阻启动交流异步电动机 /289
 - 17.2.4 CO、CO2 系列单相电容启动交流异步电动机 /291
 - 17.2.5 DO、DO2 系列单相电容运转交流异步电动机 /293

17.2.6 YC 系列单相电容启动交流异步电动机 /295

17.2.7 JX、JY、DO 系列单相电容启动式交流异步电动机电容值 /296

17.2.8 单相电容启动、运转交流异步电动机电容值 /297

第 18 章 三相交流异步电动机空壳重绕简易计算 /298

18.1 常用术语与计算公式 /298

18.2 绕组重绕简易计算 /300

18.2.1 计算步骤与方法 /300

18.2.2 计算举例 /307

附录 /310

电气接线图常用图形符号和文字符号 /310

参考文献 /313

第一篇 基础知识

这一部分主要介绍电磁感应和电路方面的基础知识,电动机的旋转过程及其种类、构造、主要技术指标,常用修理工具、仪表的使用注意事项等。显然,这些内容是从事电动机修理工作最基础的知识。

第 1 章 交流电基础知识

1.1 物体的导电性

1.1.1 导体、绝缘体与半导体

大家知道,自然界的一切物质都是由分子组成的,而分子又是由原子组成的。每一个原子是由一个带正电荷的原子核和一定数量的带负电荷的电子组成的。物质原子中的电子是分层排列的,其最外层电子数量的多少及移动的难易程度,往往决定着该种物质的导电能力。

1. 导体

这类物质在常温下由于其原子核对电子的吸引力小而存在大量自由移动的电子(简称自由电子),具有良好的导电能力,因此被称为导体。如金、银、铜、铝、铁等金属以及石墨、碳等非金属。人体也能导电,也是导体。在电动机修理中,经常遇到的导体主要有铜导线、铝导线、漆包线、电刷等。

2. 绝缘体(非导体)

组成这类物质的原子,最外层电子往往多于 4 个,它们受原子核的吸引力较强,不易挣脱原子核的束缚而成为自由移动的电子,在常温下能自由移动的电子数量极少,导电能力很差或几乎不导电,因此被称为绝缘体或非导体。如橡胶、云母、陶瓷、塑料、玻璃、干燥的木材等。在电动机修理中,经常遇到的绝缘体主要有聚酯薄膜、青壳纸及线圈浸渍用绝缘漆等。

3. 半导体

这类物质在常温下具有的能自由移动的电子数量介于导体和绝缘体之间,导电能力也介于二者之间,因此被称为半导体。如硅、锗、硒等。目前,硅、锗半导体是制作晶体二极管、三极管及集成电路的主要材料。

物体的导电能力除了与其原子结构有关外,还与外界条件有关。例如,干燥的木头是绝缘体,但潮湿的木头却是导体;在高电压的作用下,物体绝缘性能可能遭到破坏而变为导体。另外,当环境温度升高时,导体的导电能力将减弱,绝缘体和

半导体的导电能力将会提高;当环境温度下降时,半导体的导电能力会变差,甚至会变为绝缘体。

从事电动机修理或其他电工工作,应清楚周围物体中哪些是导体,哪些是绝缘体,以便在作业时采取相应的防范措施,保障人身安全。

1.1.2 导体的电阻与电阻率

理论和实践均证明,自由电子在导体中沿着某个方向移动时会遇到一定的阻力。究其原因,这种阻力主要是自由电子与其原子发生“碰撞”而产生的。导体对自由电子移动产生的这种阻碍作用称为电阻,通常用 R 或 r 表示。

电阻的基本单位是欧姆,用希腊字母“ Ω ”表示,是为了纪念德国物理学家欧姆而命名的。比欧姆大的单位是千欧姆(简称千欧),写作 $k\Omega$, $1 k\Omega = 1\,000\ \Omega$;更大的单位是兆欧姆(简称兆欧),写作 $M\Omega$, $1 M\Omega = 1\,000\ k\Omega = 1\,000\,000\ \Omega$,即 $1 M\Omega = 1 \times 10^3\ k\Omega = 1 \times 10^6\ \Omega$ 。

导体电阻的大小与其制作材料、长短、粗细及环境温度的高低有关。平时所见到的导线(或称电线)的电阻可由下式求出:

$$R = \rho \frac{l}{S} (\Omega)$$

式中: l 为导线的长度,单位为米(m); S 为导线的截面积,单位为平方毫米(mm^2); ρ 称为电阻参数,也称电阻率,其值等于长度为 1 m、横截面积为 $1\ \text{mm}^2$ 的均匀导线所具有的电阻,单位为 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。

导体的电阻率是电工技术中很重要的一个物理量,不同的导电材料有不同的电阻率。电阻率越大,说明该材料的导电能力越差;与此相反,电阻率越小,说明它的导电能力越强。在环境温度为 20°C 时,常用导体材料的电阻率见表 1-1。

表 1-1 常用金属导体的电阻率(20°C)

材料	电阻率($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)	材料	电阻率($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)
银	0.016 5	铁	0.097 8
铜	0.017 5	铅	0.222
铝	0.028 3	康铜	0.44
钨	0.055 1	铸铁	0.5
黄铜(铜锌合金)	0.065		

顺便指出,对金属材料而言,其电阻率随温度的升高而增大;而制作电动机用电刷的石墨和碳,其电阻率则随温度的升高而降低。另外,导体的电阻率一般小于 $0.5\ \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$;绝缘体的电阻率一般大于 $10^9\ \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$;半导体的电阻率则介于二者之间。

1.2 电路与欧姆定律

1.2.1 电路

在正常情况下,一般的物体都不带电。在特定的条件下,不仅可以使导体带电,而且可以使其中的自由电子做定向移动。例如,将电池、小灯泡用电线照图 1-1(a)所示连接起来,里面的自由电子不仅可以定向移动,而且还可以使小灯泡发亮。为了控制小灯泡的亮、灭,通常还接一个开关,如图 1-1(b)所示。开关接通时,小灯泡发亮;开关断开时,小灯泡熄灭。实际上,日常生活中使用的手电筒,就是这样的一个“系统”。

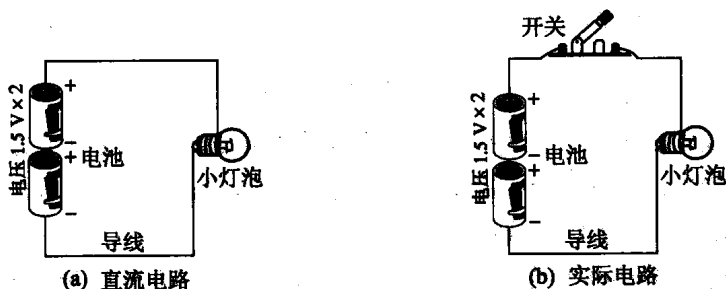


图 1-1 干电池、小灯泡、开关组成的电路

在电工技术中,上述电池、小灯泡、开关、电线彼此连接而组成的“系统”称为电路。其中电池因提供自由电子做定向移动的“原动力”,通常被称为电源。小灯泡之所以能发亮,是因为它消耗了电池的“原动力”,因此被称为电源的负载,也常被称为用电器(简称电器)。可以这样讲,电工技术中所述的电路,一般均由电源、电线、负载(电器)及开关四部分组成。

1.2.2 电流与电压

在图 1-1 所示的电路中,自由电子的定向移动有点像自来水管中的水流,因而被称为电流。在电工技术中,电流通常用 I 或 i 表示。电流的大小用电流强度来描述,单位为安培(简称为安),用英文字母“A”表示。1 A 的电流表示在 1 s 的时间内通过电线截面的电量为 1 C。这里的电量是指参与定向移动的全部自由电子所携带的总电量。在物理学中,把 1 个电子所携带的电量作为电量的基本单位。因为电子本身很小,所带的电量也很少;在电力工程中,1 个电子所带的电量没有多少实用价值。1 C 的电量大约为 6.24×10^{19} 个电子所带电量的总和。由此不难想象,对于 1 A 的电流,1 s 中通过电线截面的电子数量是一个天文数字。实际应

用中,比安培小的单位为毫安培(简称毫安),写作 mA, $1\text{ mA}=10^{-3}\text{ A}$;更小的单位为微安培(简称微安),写作 μA , $1\text{ }\mu\text{A}=10^{-3}\text{ mA}=10^{-6}\text{ A}$ 。

如果对图 1-1 所示电路进一步思考,不免会有这样的疑问:当开关接通时,电路中为什么会产生电流?显然,这是电路中存在电源的缘故。为了便于说明这个问题,仍然以自来水水管中的水流为例。要想使水不停地在水管中流动,管道中必须设置一台水泵,如图 1-2 所示。水泵只要均匀地高速运转,便会在其 A、B 两端产生并保持一个固定的水压差,管中的水就会持续不断地从 A 流向 B。显然,水泵产生的水压差越大,水流越快。通俗地说,电路中电源的作用类似于水泵,它能在电路中产生并始终保持一个电压差,从而使电路中的自由电子做定向移动,即产生电流 I 。同样道理,电压差越大,电量流动越快,则电流 I 越大。

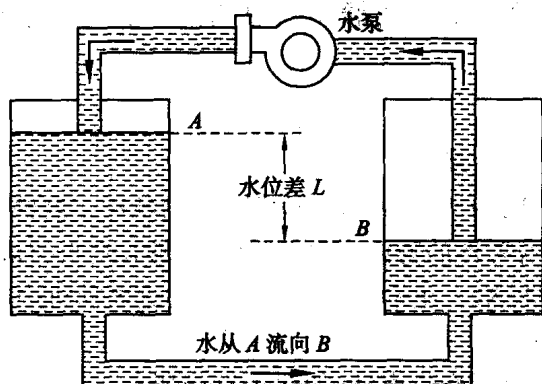


图 1-2 水压差与水流

在电工技术中,电压差简称电压,通常用 U 或 u 来表示。电压的单位为伏特(简称伏),用 V 来表示。例如,1 节干电池的电压为 1.5 V ,汽车电瓶的电压为 12 V ,电动自行车电瓶电压为 36 V 或 48 V 等。比伏大的单位为千伏,写作 kV , $1\text{ kV}=1\,000\text{ V}$;比伏小的单位为毫伏,写作 mV , $1\text{ mV}=0.001\text{ V}=10^{-3}\text{ V}$ 。

如果要保持 $1\text{ }\Omega$ 电阻中通过的电流为 1 A ,则其两端需要的电压为 1 V 。也可以反过来说:如果施加在 $1\text{ }\Omega$ 电阻两端的电压为 1 V ,则通过它的电流为 1 A 。即 $1\text{ A}=1\text{ V}/1\text{ }\Omega$ 或 $1\text{ V}=1\text{ A}\times 1\text{ }\Omega$ 。

1.2.3 欧姆定律

由上面的叙述可知,任何导体都具有一定的电阻 R ,而在导体两端施加电压 U ,其内部必然产生电流 I 。那么,导体的电阻 R 、两端的电压 U 和通过的电流 I 三者之间有什么规律呢?实践和理论均证明,三者之间的关系可以用数学公式表示如下:

$$I=\frac{U}{R}$$

或

$$R=\frac{U}{I}$$