

微型水电站 实用手册

贺文等编著

机械工业出版社

04

微型水电站实用手册

贺 文 等 编著

王 达 审校



机 械 工 业 出 版 社

1986 北京

2-1038/12

本书内容涉及电工、水工的基础知识；小型水轮机、发电机以及各种辅助设备的技术资料和数据；微型水电站的运行管理和维修技术问题；高、低压送电线路和室内配线的技术要求及有关数据；并附有一些常用的数据资料表。文字深入浅出，力求简洁，适于供初中以上水平的各类人员查阅使用。

本书可供从事农村小水电开发、设计、安装、运行及管理的各类人员在实际工作中查阅，也可供有志于小水电事业的非技术人员学习参考。

微型水电站实用手册

贺文等编著

王达审校

*

责任编辑：刘思源 牛新国

封面设计：刘代

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $7\frac{3}{4}$ · 字数 165 千字

1987 年 12 月北京第一版·1987 年 12 月北京第一次印刷

印数 0,001—2,800 · 定价：2.10 元

*

统一书号：15033·6888

前 言

农业经济的快速发展，对电力的需求日益迫切。在城市电网尚不可能通向边远农村和山区的情况下，就地利用水力资源，由集体或个人兴办小水电的越来越多，其中绝大部分是容量只有几到几十千瓦的微型水电站。但由于这方面的专业人员和技术资料缺乏，从勘测设计到运行管理往往带有盲目性，因而问题较多，效果不够理想。为了更好地开发各地分散的水力资源，满足广大山区、农村人民建设和管理微型水电站的需要，提供一本实用的技术手册，实为当务之急。

手册内容涉及水、电的基础知识，水轮机、发电机以及各种辅助设备的技术资料和数据，微型水电站的运行管理和维修技术问题，并附有一些常用数据资料表。希望此书能够满足初中以上水平从事小水电站工作的各类人员查阅使用，并对推动“星火”计划起些有益的作用。

本书在编写过程中，得到江西奉新机械厂有关同志的大力支持和帮助，并经机械工业部科学技术情报研究所王达同志审校，在此一并致谢。由于我们水平有限，时间匆促，在内容和文字表达方面，可能不够全面完整，甚至会有错误或不妥之处，还希读者及专家们批评指教。

编者

一九八六年六月于北京

目 录

1	基础知识	1
1.1	电工基础	1
1.1.1	电的概念	1
1.1.2	电流	1
1.1.3	电压	2
1.1.4	物质的导电	2
1.1.5	电阻、容抗和感抗	3
1.1.6	直流电路	5
1.1.7	交流电路	9
1.1.8	三相交流电	14
1.1.9	电磁感应现象	18
1.2	水工基础	22
1.2.1	水力计算	22
1.2.2	水头	22
1.2.3	流量	24
1.2.4	流速	24
1.2.5	水流类型	25
1.2.6	过水断面	25
1.2.7	渠道	27
1.2.8	前池	29
1.2.9	水力测量	31
2	常用元器件	37
2.1	电子元器件	37
2.1.1	电阻器	37
2.1.2	电容器	38
2.1.3	晶体整流二极管	40

2.1.4	稳压管	48
2.1.5	晶体三极管	51
2.1.6	晶闸管(可控硅)	58
2.1.7	双向晶闸管	67
2.1.8	单结晶体管	71
2.2	低压电器	79
2.2.1	熔断器	79
2.2.2	闸刀开关	80
2.2.3	自动开关	82
2.2.4	接触器	83
2.2.5	主令电器	83
2.2.6	控制继电器	89
2.3	电气测量仪表	90
2.3.1	交流电流表和电压表	90
2.3.2	功率因数表	92
2.3.3	频率表	93
2.3.4	电度表	93
2.3.5	万用电表	96
3	发电机	103
3.1	同步发电机	103
3.1.1	同步发电机发电原理	103
3.1.2	同步发电机的型号	105
3.1.3	励磁装置	105
3.2	异步发电机	113
3.2.1	异步发电机发电原理	113
3.2.2	激磁电容	115
3.3	发电机控制屏	116
3.3.1	自制发电机控制屏	116
3.3.2	标准发电机控制屏	121

3.4 水轮发电机组稳速装置	123
3.4.1 稳速装置工作原理	124
3.4.2 电子负荷调节器的安装与使用	124
4 微型水轮发电机组	128
4.1 水轮机	128
4.1.1 水轮机种类	128
4.1.2 水轮机的型号	129
4.1.3 水轮机的主要参数	130
4.2 发电机的选配	132
4.2.1 选配原则	132
4.2.2 选配实例	133
4.3 微型整装水轮发电机组	134
4.3.1 斜击式立轴整装机组	134
4.3.2 混流式立轴整装机组	134
4.3.3 微型轴流式整装机组	137
5 微型水电站	138
5.1 电站的开发型式	138
5.1.1 引水式水电站	138
5.1.2 堤坝式水电站	138
5.2 水轮发电机组的选用	142
5.2.1 水轮机的选型	142
5.2.2 发电机的选择	143
5.3 水轮发电机组的安装	145
5.3.1 安装前准备工作	145
5.3.2 机组的安装	146
5.3.3 通水试车	150
5.4 并车运行	150
5.4.1 发电机的并车	150
5.4.2 并车运行的条件	151

5.4.3 准同期并车操作	151
6 维护和检修	155
6.1 电站日常维护	155
6.1.1 日常维护项目	155
6.1.2 不正常音响及其原因	156
6.2 电站常见故障及对策	157
6.2.1 发电机不发电	157
6.2.2 发电机受潮	158
6.2.3 发电机电压太低	158
6.2.4 发电机电压太高	159
6.2.5 机组出力下降	159
6.2.6 机组振动过大	159
6.2.7 发电机温度过高	160
6.2.8 轴承温度超过机壳	161
6.2.9 激磁电容温升过高	161
6.3 发电机的正确装卸	162
6.3.1 发电机的拆卸	162
6.3.2 发电机的装配	162
6.4 发电机主要维修项目	163
6.4.1 轴承的保养与更换	163
6.4.2 绕组绝缘的干燥处理	165
6.4.3 发电机绕组的修复	166
7 供电与布线	167
7.1 供电方式	167
7.1.1 发电机电压直接供电	167
7.1.2 并网供电	167
7.2 架空送电线路	168
7.2.1 电杆的型式	168
7.2.2 绝缘子和金具	168

7.2.3	布线方式	168
7.2.4	导线的对地距离	170
7.2.5	线路的电压损失	170
7.2.6	线路的防雷保护	175
7.3	室内配线	176
7.3.1	进户线	176
7.3.2	动力线路	176
7.3.3	照明线路	177
7.3.4	保险丝的选择	183
8	安全用电知识	187
8.1	预防触电	187
8.1.1	触电对人体的危害	187
8.1.2	触电的两种形式	187
8.1.3	触电的预防措施	188
8.1.4	触电的急救	189
8.2	接零与接地	190
8.2.1	设备的接地	190
8.2.2	工作接地	190
8.2.3	保护接地(接零)	191
8.2.4	接地装置	191
8.2.5	接地的对象	192
8.3	漏电保护器	192
8.3.1	触电的保护	192
8.3.2	电压动作型漏电保护器	192
8.3.3	电流动作型漏电保护器	194
9	其它辅助系统	195
9.1	传动设备	195
9.1.1	两种传动方式	195
9.1.2	平皮带传动	195

X

9.1.3 三角皮带传动	203
9.2 压力水管	208
9.2.1 压力水管分类与性能	208
9.2.2 压力水管直径的选择	208
9.2.3 压力钢管的经济比较	211
10 附录	213
10.1 计量单位的换算	213
10.1.1 长度单位换算表	213
10.1.2 面积单位换算表	213
10.1.3 容积单位换算表	214
10.1.4 重量单位换算表	214
10.1.5 电工单位换算表	215
10.1.6 温度压力单位换算表	216
10.1.7 流量单位换算公式	216
10.1.8 热功当量换算公式	216
10.2 常用计算公式	217
10.2.1 面积计算公式	217
10.2.2 体积计算公式	219
10.2.3 能量计算公式	220
10.3 常用建筑材料重量	220
10.3.1 金属材料单位重量	220
10.3.2 木材单位重量	220
10.3.3 土石材料单位重量	221
10.3.4 石灰水泥制品单位重量	222
10.3.5 其它材料单位重量	223
10.4 机组主要性能表	223
10.4.1 微型水轮发电机组参数	223
10.4.2 小型水轮机系列型谱	227
10.4.3 小型同步水轮发电机参数	228

10.5 部分常用符号	229
10.5.1 常用外文字母	229
10.5.2 常用数学符号	231
10.5.3 化学元素符号	233

1 基础知识

1.1 电工基础

1.1.1 电的概念

(1) 电荷 电荷是物质的固有属性之一，有正电荷与负电荷两种。负电荷总是同物质的多余电子数相联系，正电荷则同物质所失去的电子数相联系。所以，物体在失去或得到一些电子时都将带电，失去电子带正电，用符号“+”表示，得到电子带负电，用符号“-”表示。电荷之间存在着相互的作用力，同性电荷相互排斥，异性电荷相互吸引。

(2) 电子 电子是物质中的基本粒子之一，带负电，其电荷量等于1.602库仑。库仑的符号为C。一库仑的电荷量等于 6.24×10^{18} 个电子的电荷量。电子的静止质量约为 9.1×10^{-28} g。

(3) 质子 质子是物质中的另一种基本粒子，存在于物质的原子核。质子带正电，其电荷量与电子的电荷量相等。质子的静止质量约为 1.67×10^{-24} g。

(4) 电场 电荷的周围存在着一种弥漫于空间的特殊形态的物质，称为电场。通过电场，能使两个带电体彼此吸引或排斥。电场具有能量，可与其它的能量形态互相转换。

1.1.2 电流 在电场力的作用下，带电质点有规律地运动，形成电流。

(1) 电流强度 单位时间内通过导体截面的电荷量称为电流强度，简称电流，通常以*I*表示。这是电的一个基

本物理量，单位为安培，符号为 A。

$$1 \text{ A} = 1 \text{ C/s} \quad (1.1-1)$$

式中 C——电荷量（库仑），

s——时间（秒）。

（2）电流密度 单位截面积上通过的电流称为电流密度，单位为 A/mm^2 。

1.1.3 电压 电场力的一种表达方式，用以表示推动带电质点形成电流的能力。

（1）电位 在电场中，单位正电荷从一个点移动至参考点时电场力所作的功，称为该点对参考点的电位。在实用中，常取大地的电位作参考点，也就是取大地的电位为零。电位的单位为伏特，符号为 V。

（2）电位差 电场中单位正电荷从一个点移动至另一个点时，两点电位的差值称为电位差，又称电压，通常以 U 表示。其单位也是 V。

1.1.4 物质的导电

（1）导体 电子能在其中自由移动的物质为导体，简称导体。金属和酸、碱、盐的水溶液都是良好的导体，银、铜、铝、铁以及某些合金是常用的导电材料。

导体的导电能力以电导来表示，其单位为西门子，符号为 S。

（2）绝缘体 几乎不能导电的物质为绝缘体，或称电介质。橡胶、塑料、陶瓷、玻璃、云母和干燥的竹、木材料以及纯水、油类和某些气体都不能导电，常用作绝缘材料。

电介质耐受电压有一定的限度，超过限度时将发生剧烈的放电或导通，这种现象称为绝缘击穿。

（3）半导体 导电性能介于导体和绝缘体之间的物质

为半导体，如硒、锗、硅以及砷化镓、磷化镓等化合物。利用半导体的特性，可以制成各种电子器件。

1.1.5 电阻、容抗和感抗

(1) 电阻 导体除具有导电能力外，对电流的通过也有一定的阻力，称为电阻，通常以 R 表示。电阻的单位为欧姆，符号为 Ω 。导体电阻值的大小与导体长度成正比，与导体截面积成反比，即

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad \Omega \quad (1.1-2)$$

式中 ρ ——导体的电阻率 ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)，因导体材料不同而有不同的值，见表 1-1；

L ——导体长度 (m)；

S ——导体截面积 (mm^2)。

电阻的单位也常用千欧 ($\text{k}\Omega$) 或兆欧 ($\text{M}\Omega$) 来表示。

$$1 \text{ k}\Omega = 1000 \quad \Omega$$

$$1 \text{ M}\Omega = 1000 \text{ k}\Omega = 10^6 \quad \Omega$$

电阻的倒数就是电导，故有

$$1 \text{ S} = 1 / \Omega$$

(2) 电阻率 用以表示各种物质电阻特性的参数为电阻率，常用 ρ 来表示，单位为 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。表 1-1 列出了常用导电材料在温度 20°C 时的电阻率和有关数据。一般金属材料的电阻是随温度而变化的，温度每增加 1°C 时电阻所增加的百分数称为电阻的温度系数。电阻温度系数本身也随温度而变化，表 1-1 所列是 $0 \sim 100^\circ\text{C}$ 范围内的电阻温度系数平均值。

(3) 电容 表示两个由电介质分隔的导体储存电荷能力的一个参数，称为电容，通常以 C 表示。电容的单位为法拉，符号为 F 。其数值等于两导体间储存的电荷量与加于两

导体上的电压的比值，即

表1-1 常用导电金属的电阻率

材 料 名 称	电 阻 率 ρ $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}, 20^\circ\text{C}$	平均温度系数 $1/^\circ\text{C}$	熔 点 $^\circ\text{C}$
银	0.016	0.0036	960
铜	0.0172	0.00396	1083
铝	0.282	0.0040	657
镍	0.072	0.0061	1451
钢	0.15	0.00625	1400
钨	0.055	0.005	3300
锡	0.114	0.00438	232

$$C = q / U \quad \text{F} \quad (1.1-3)$$

式中 q ——电荷量 (C);

U ——电压 (V)。

电容的单位也常用微法 (μF) 或皮法 (pF)。

$$1 \text{ F} = 10^6 \mu\text{F} = 10^{12} \text{ pF}$$

由这种原理构成的元件称为电容器。交流电能够通过电容器，但也受到一种类似电阻的阻力，称为容抗，通常以 X_c 表示，其数值可从下式求得。

$$X_c = 1 / 2\pi f C \quad \Omega \quad (1.1-4)$$

式中 f ——交流电的频率 (Hz);

C ——电容器的电容 (F);

π ——数学常数，约等于3.1416。

由上式可知，容抗与频率和电容成反比，提高频率和增加电容都能减少容抗，使电流容易通过。根据这种原理，可以组成高频通道和滤波器等。

(4) 电感 一个通过交流电的线圈中，电流的变化将会引起穿过该线圈的磁通量的变化，从而在线圈内产生感应电动势。这种现象称为自感。

一个线圈中的电流变化，通过磁链，也可以在邻近的另一个线圈中引起感应电动势。这种现象称为互感。

自感和互感统称电感，通常以 L 表示。电感的单位为亨利，符号为 H 。

一个有电流通过的电路基本上是一个单匝线圈，所以也有电感。电感对电也有类似电阻的阻力，称为感抗，通常以 X_L 表示，其数值可从下式求得。

$$X_L = 2\pi fL \quad \Omega \quad (1.1-5)$$

式中 L ——电感 (H)。

由上式可知，感抗与频率和电感成正比，提高频率和增加电感都将增加感抗，使电流难以通过。这就是高频扼流线圈的工作原理。

(5) 阻抗 当电路中具有电阻、电容和电感时，对交流电的综合阻力称为阻抗，通常以 Z 表示，其数值可用下式求得。

$$\begin{aligned} Z &= \sqrt{R^2 + (2\pi fL - 1/2\pi fC)^2} \\ &= \sqrt{R^2 + X^2} \quad \Omega \end{aligned} \quad (1.1-6)$$

式中 R ——电阻 (Ω)；

X ——感抗与容抗的代数和，称为电抗 (Ω)。

由上式可知，在交流电路中，容抗和感抗是互相抵消的。利用电容器可以补偿电感电流，改善功率因数，就是这个道理。

1.1.6 直流电路

(1) 直流电 电压与电流方向不变，也不随时间变化的，称为直流电，通常用符号 DC 表示。

由于直流电流不随时间变化，频率为零，感抗为零，而容抗为无穷大，所以能通过线圈而不能通过电容器。直流电路

中只有电阻起作用, 所以电流与电压的关系基本上是线性的。

(2) 欧姆定律 在简化的直流电路中, 可把线路中所有电阻看成一个集中的电阻, 如图 1-1。通过电阻 R 的电流 $I(\text{A})$, 与加在电阻两端的电压 $U(\text{V})$ 成正比, 与电阻值 $R(\Omega)$ 成反比。即

$$I = U / R \quad (1.1-7)$$

这个关系称为欧姆定律。如果已知电压、电流和电阻三个量中的任何两个, 就可根据欧姆定律求出第三个量。

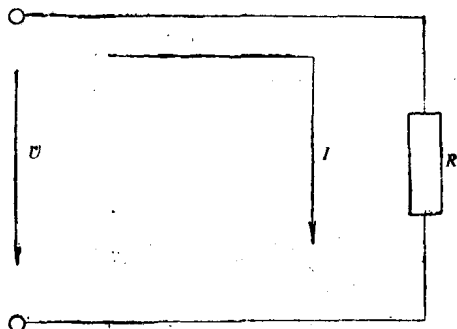


图 1-1 简化直流电路

$$I = U / R$$

$$U = IR$$

$$R = U / I$$

其中 IR 又称为电阻 R 上的电压降。

(3) 电阻的串并联 在实际直流电路中, 各个电阻的联结就比较复杂。有的串联, 如图 1-2。有的并联, 如图 1-3。更多的是串并联混合形式, 如图 1-4。

1) 电阻串联时, 通过各个电阻的电流 I 相同。电压等于各个电阻上的电压降之和, 即

$$U = IR = IR_1 + IR_2 + \cdots + IR_n$$

$$R = R_1 + R_2 + \cdots + R_n \quad (1.1-8)$$

由上式可知, 等值电阻等于各串联电阻之和。