

机井动力设备

(二) 电气设备及线路

李璿英编

机井节能节水测试技术改造培训教材



水利电力出版社

机井节能节水测试改造技术培训教材

机井动力设备(二)

电气设备及线路

张维其 编

水利电力出版社

内 容 提 要

本书共分三章。主要内容有：农村低压配电线路；机井用电动机及控制设备；机井在运行和测试中所用的电工仪表等。

本书是为具有中学文化程度的农村机井管理技术人员编写的培训教材，对其他从事水利工作的技术人员也有一定的参考价值。

机井节能节水测试改造技术培训教材

机井动力设备(二)

电气设备及线路

李韶英编

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

北京昌平沙河建华印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 7.5印张 185千字

1987年3月第一版 1987年3月北京第一次印刷

印数0001—6300册 定价1.55元

书号 15143·6333

序 言

我国北方地区机井建设自1973年纳入国家计划以来，有很大发展，已成为这一地区水利建设的重要组成部分。在北方17个省、自治区、直辖市的1200多个县、旗中，有900多个县、旗打了井，共建成配套机井220多万眼，配用动力2000多万千瓦，井灌面积达1.67亿亩，约占这一地区总灌溉面积的三分之一，并改善了供水不足草原和开辟无水草原11万平方公里。由于过去大发展时期建设的机井多数没有经过严格的配套设计和选型，加上设备质量不高，供应品种不全和管理不善等原因，造成不少井、机、泵配套不合理，致使装置效率低、耗能多、运行成本高、经济效益低。

我国能源不足，尤其是电力和燃油供应紧张，这是我国国民经济发展中的一个突出的薄弱环节；我国人均水资源每年为2600立方米，仅相当世界人均水量的四分之一，尤其是北方地区，有的地方人均水资源每年只有三、四百立方米，已成为经济发展的严重制约因素。北方17省、市、自治区自发展井灌以来，由于长期开采大于补给等原因，不少地方区域地下水位逐年大幅度下降，迫切需要采取措施解决。

当前北方地区机井工作正开展以节能节水为中心的技术改造，提高机井装置效率和水的有效利用率，达到降低灌溉成本，提高经济效益的目的，这是井灌区加强科学管理做到合理开发利用地下水的首要任务。自1983年我司召开“机井节能节水技术改造经验交流会议”以来，到1985年底，北方

井灌区已改造机井27万眼。经过技术改造的机井，装置效率平均提高10%左右。据河南省浅井地区框算，技术改造后比改造前，平均一眼机井一年可节电近700千瓦小时（度）；河北省深井地区框算，平均一眼机井一年可节电约5000千瓦小时（度），效果十分显著。

经过两年多的技术改造实践，说明机井的科学管理必须把节能节水技术改造作为主要内容和经常工作。机井的技术状态及地下水位均在运用过程中不断地变化着，要保持较高的机井装置效率，就必须经常对井、机、泵、管、传进行检修和调整，因此，基层机井管理人员的技术素质是搞好机井技术管理、提高机井装置效率的关键；同时，机井管理工作要逐步贯彻、执行水利电力部颁发的《农压机井技术规范》，使机井管理工作科学化、正规化、这也要求机井管理人员具有一定的技术水平。

为了提高机井管理人员的技术素质，加强机井管理工作，我司在“1984年机井节能节水技术改造师资培训班”教材的基础上，会同水利电力出版社，组织编写了“机井节能节水测试改造技术培训教材”，这套教材共6册，约110万字，包括《井灌水力学基础》、《农压机井设计与管理》、《井泵理论与技术》、《机井动力设备（一）柴油机》、《机井动力设备（二）电力设备及线路》、《机井装置效率的量测与节能节水技术改造》，授课时数约200学时。编写、审定这套教材的同志，付出了辛勤的劳动，在这里，向他们表示衷心的感谢。

党的十一届三中全会以来，中央多次提出要加强职工队伍的培训，提高整个职工队伍的政治素质和业务、技术、文化水平，以适应四个现代化建设的需要。水利电力部职工教育工作要求，要建立健全职务和岗位技术培训制度，要逐

步做到未经培训合格,不能上岗和提升。机井管理也应如此,因此,凡具有中学文化程度、从事机井管理工作的同志,应逐步通过以本教材为基本内容的技术培训,可以单科或多科进行,由上级水利部门组织,由大、中专业学校老师或从事机井管理工作的工程师,按学时数授课,结业时进行单科考试,全部考试合格的,发给“结业合格证书”。

这套培训教材,内容上力求理论与生产实践相结合,着重于应用,文字上深入浅出,通俗易懂。我们希望各地在实际工作中,对这套教材多提补充、修改意见,使其内容不断完善。

水利电力部农田水利司

1986年7月

前 言

本书是在水利电力部农田水利司1984年举办的“机井节能节水技术改造师资培训班”讲义的基础上修改编写而成。本书紧紧围绕机井用电，从节能的观点分析农村低压电力网和电动机的运行情况，并对在机井测试中所用到的电工仪表加以介绍。希望能通过对本书的学习，使广大机井管理技术人员能经济合理地使用电能和电机，为节能和提高机井综合装置效率作出一定成绩。

本书经山东工业大学水利系张有宏全面审查，并提出了宝贵意见。本书在编写过程中得到山东省水利厅、泰安地区水利局、肥城县水利局等单位的大力协助。特别是对张有宏、张明文、杨庆江和李凤强在技术上给予帮助和指导表示深切的感谢。

热忱地希望广大读者在使用本书时将发现的问题和改进意见告诉作者，以便改正。

编 者

1986年7月

目 录

序 言

前 言

第一章 农村低压配电线路.....	1
第一节 电力系统简介.....	1
第二节 电路的基本性质.....	3
第三节 感性负载在交流电路中的作用.....	14
第四节 农村电力网供电特点及负荷计算.....	52
第五节 配电变压器容量及位置的确定.....	61
第六节 农村电力网电压损失及导线截面的选择.....	82
第七节 农村电力网的经济运行.....	104
复习思考题.....	113
第二章 机井用电动机及控制设备.....	117
第一节 三相异步电动机的结构及工作原理.....	117
第二节 异步电动机的工作特性及经济运行.....	129
第三节 异步电动机运行情况的分析.....	139
第四节 异步电动机的起动及控制设备.....	146
第五节 异步电动机的铭牌及选用.....	160
复习思考题.....	173
第三章 机井测试及运行中常用的电工仪表.....	176
第一节 电气测量仪表的一般知识.....	177
第二节 电压表、电流表及互感器.....	183
第三节 功率表.....	190
第四节 功率因数表.....	197
第五节 电度表.....	204

第六节 万用表及多用钳形表	219
第七节 兆欧表	222
第八节 电工仪表在机井运行和测试中的应用	227
复习思考题	230

第一章 农村低压配电线路

在电力网中，从配电变压器到各个负荷点的这一段供电线路称为低压配电线路。本章主要介绍在低压配电线路中，配电变压器的容量和位置的确定，架空线路和动力线路导线截面的选择以及低压供电线路的经济运行。从事机井工作的同志，应从节能和提高排灌机械的综合效率的角度合理使用电能，以保证机井及与它配套的机电设备长期安全经济工作。

第一节 电力系统简介

工农业生产和人民生活所广泛使用的交流电，主要是由水力或火力发电厂的发电机发出，通过输电线作远距离或近距离的输送，最后分配给工厂和广大农村及其他用户。这就构成了发电、输电、配电的完整系统。电力系统可用图 1-1 表示出来。

发电方式按能源的不同，主要分为火力发电、水力发电和原子能发电。此外，还有利用风力、潮汐、天然气、地热和太阳能等来发电的。由于我国煤的蕴藏量较为丰富，以煤作为主要燃料的火力发电厂占绝大多数，但水力发电是方向。随着四化的进程，原子能发电也提到议事日程上来了。

一般中型和大型发电厂均装有多台发电机，这些发电机的电压通常是 6.3kV （千伏）或 10.5kV ，而 5万kW （千瓦）

以上的发电机的电压多采用13.5kV或15.75kV。

输电电压的高低根据输电的容量大小和距离远近而定。输送的容量愈大，距离愈远，输电电压也就愈高。在输送同样的容量时，升高线路的电压就可以减少线路中的电流，这样就能使线路损失减小，延长输送距离以满足广大边远农村的需要，或在同样输电线和距离时，提高输电电压，就能增加输电的容量。所以在输电时一般要采用高压送电，我国现在的交流输电电压有6kV、10kV、35kV、110kV、330kV、500kV等几个等级。目前，我国常把同一地区内的各发电厂联成电力系统，以便充分利用各发电厂的设备，互相调剂，保证经济可靠地运行，而升高输电电压的任务是由升压变压器来完成。

在使用电能时，为了降低电气设备的造价以及满足用电安全的要求需采用较低的电压，电动机和电灯用的电压分别是380V和220V，这就要求有区域变电站，用电变压器把高压降低到用户所需要的电压。

图1-1所示的输配电系统是用单线表示，而实际上是采用三相三线制供电。

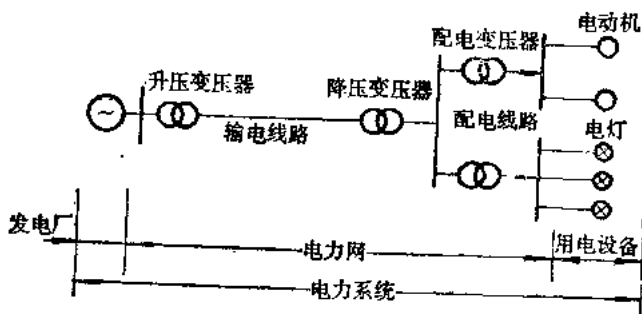


图 1-1 发电、输电、配电系统简图

第二节 电路的基本性质

一、电路的组成

图1-2所示为最简单的电路。电路由电源、负载、输电线（连接导线）和开关等所组成。

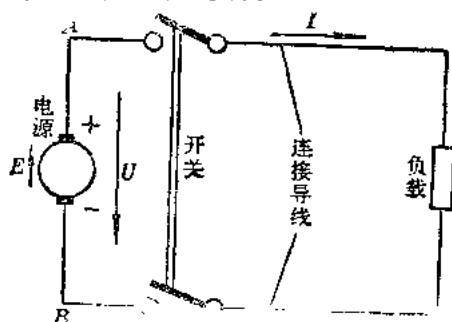


图 1-2 最简单的电路

1 马力 = 735.49875 W

电源是供应电能的装置，它把其他形式的能量转换为电能。例如，发电机把机械能转换为电能，电池把化学能转换为电能。

负载是取用电能的装置，它把电能转换为其他形式的能量。例如，电动机把电能转换为机械能，电灯把电能转换为光能和热能。

输电线是输送电能的，它把发电厂、变电所和用电设备连接起来。用作输电线的材料有铜和铝两种，一般架空线路采用铝绞线，或钢心铝绞线，由于输电线的距离是很长的，在分析计算电路时应考虑其电阻所产生的压降和功率损失，导线电阻是沿线路分布的，在电工中为计算方便，将其视为集中电阻，用 R_l 表示线路电阻，图1-2可表示为图1-3的形式。

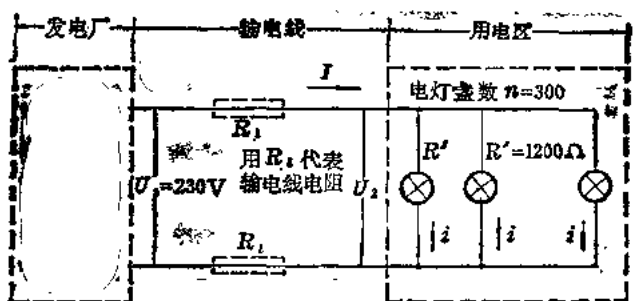


图 1-8 实际电路

二、电阻

导体的电阻值 R 是与其长度 l 成正比，与其横截面积 S 成反比，并与导体材料的性质有关，即

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-1)$$

式中 ρ 是电阻率。导体的材料不同，其电阻率也不同，电阻率的倒数 $1/\rho$ 称为电导率，用 τ 表示。

当长度的单位用 m (米)，截面积的单位用 mm^2 ，电阻的单位用 Ω (欧姆)时，电阻率的单位为 $\Omega \cdot m$ (欧·米)。因此，电阻率就是长度为 $1m$ ，横截面积为 $1mm^2$ 的材料所具有的电阻值。

导体的电阻除与材料的性质、尺寸有关外，还与温度有关。大多数的金属，其电阻随温度升高而增大。

实验指出，温度在 $0 \sim 100^\circ C$ 范围内，金属导体的每欧电阻的变动量 $(R_2 - R_1)/R_1$ 与温度的变动量 $(t_2 - t_1)$ 近似地成正比关系。即

$$\frac{R_2 - R_1}{R_1} = \alpha(t_2 - t_1)$$

或

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)]$$

上式中的 α 称为电阻的温度系数，它等于温度每变动 1°C 时每欧电阻的变动量，其位单为 $1/^\circ\text{C}$ ， R_1 和 R_2 分别是温度为 t_1 和 t_2 时的电阻。

表1-1给出了几种常用导电材料的电阻率和电阻温度系数。

表 1-1 几种常用导电材料的电阻率和电阻温度系数

材料名称	电阻率 $\rho[20^\circ\text{C}]$ ($\mu\Omega\cdot\text{m}$)	电阻温度系数 α [$0\sim 100^\circ\text{C}$]($1/^\circ\text{C}$)	用 途
银	0.0165	0.0036	导线镀银
铜	0.0175	0.0040	导线,主要的导电材料
铝	0.0283	0.0040	导 线
铂	0.1060	0.00398	热电偶或电阻温度计
钨	0.055	0.005	白炽灯的灯丝,电器的触头
康铜	0.44	0.000005	标准电阻
锰铜	0.42	0.000006	标准电阻
镍铬铁合金	1.12	0.00013	电 炉 丝
铝铬铁合金	1.3~1.4	0.00005	电 炉 丝
碳	10	-0.0005	电 刷

三、电路的状态

1. 电路的工作状态 图1-4中,设电源的电动势为 E ,内阻为 r_0 ,输电线的电阻为 R_1 ,负载的等效电阻为 R 。

当合上电源开关 K 和各个负载开关 K_1 、 K_2 、 $\dots$ 、 K_n 时,则电路中有电流 I 通过。

、电流 I 通过电源,在内阻 r_0 上产生压降,从而使电源两端的电压 U_1 为

$$U_1 = E - Ir_0 \quad (1-2)$$

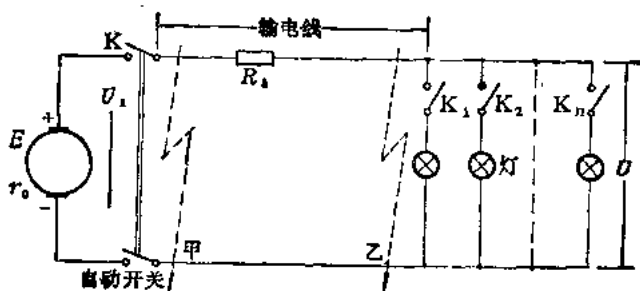


图 1-4 电路的工作状态

电流 I 通过输电线，在线路电阻 R_l 上产生压降，从而使负载上所得到的电压 U 为

$$U = U_1 - IR_l = E - Ir_0 - IR_l$$

负载电阻 R 实际上是各个负载的等效电阻，由于负载都是并联接在电源两端，所以各个分电阻 R_1 、 R_2 、 $\dots$ 、 R_n 与等效电阻的关系为

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

如用电流和电阻来表示负载两端的电压 U ，则

$$U = I \cdot R$$

根据克希荷夫电压定律

$$\begin{aligned} E &= Ir_0 + IR_l + IR = Ir_0 + IR_l + U \\ &= I(\tau_0 + R_l) + U \end{aligned} \quad (1-3)$$

将式 (1-3) 整理后得

$$U = E - I(\tau_0 + R_l) \quad (1-4)$$

当电源一定， E 、 τ_0 也一定，输电线的材料、尺寸和线路长度一定时， R_l 也一定，则随着负载的增加，负载所取

用的电流增大，负载两端的电压 U 下降，这种随着负载的增加，负载两端电压下降的特性，即 $U=f(I)$ 曲线表示在图1-5中。

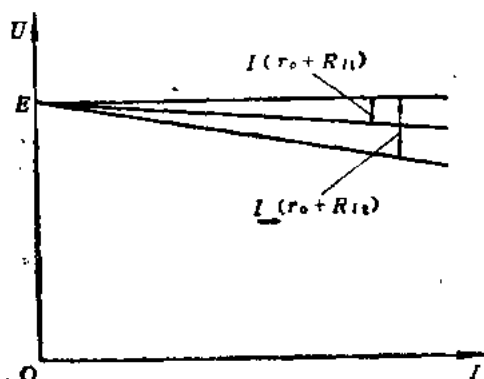


图 1-5 负载端电压随负载电流的变化

由图 5-1 可看出：

(1) 当电源的电动势 E 、内阻 r_0 和输电线的材料尺寸一定时(即线路电阻 R_l 一定)，负载两端所得到的实际电压主要取决于负载的大小，负载愈大，负载的等效电阻值愈小，取用的电流愈大，负载两端所得到的电压愈低。所以不能在电源线两端并联过多的负载，以免负载过大影响负载的正常工作。

(2) 当电源电动势、内阻、负载情况一定，如输电线路过长或导线截面过小，使得线路电阻过大(在图1-5中 $R_{l2} > R_{l1}$)，则也将造成负载的端电压下降，影响到负载的正常用电，所以使用电能时，必须选择好适当的连接导线，不能用过长过细的导线，以免增加不必要的线路电压和功率的损失。

以上所得出的两个结论，对机井工作人员来说是很有实用价值的。

天旱时，需要浇地，这时电灌井泵都开动起来，就会出现井泵突然停止或合闸后有的泵开动不起来的现象。有时甚至出现大面积的停电，这些现象都是由于运转着的泵太多，使供电线路电流过大，从而引起线路电压下降很厉害，电动机带不动水泵所致。另外，当运转的井泵太多，电流过大时，就会使保护电器动作，从而切断电源。而地区变电所或配电房的变压器容量是一定的，在负荷过大时它只允许一部分井泵工作，也就是说采用了分区供电的办法来解决电能供应不足，电压过低的问题。

同时还应提出的是，地区变电所或配电房离机井的位置也应有一定的距离，如距离过大或所用连接导线过长过细，都将使井泵上所得的电压降低，从而使井泵不能正常工作。

2. 电路的额定工作状态

所有电气设备，如发电机、电动机等除了要用导电材料来传导电流外，还要用绝缘材料把导电的部分隔离开来，从而使电流只能在一定的路径中通过并可保护人身安全，以免触电。因此，在一个电气设备中既有导电的部分又有绝缘的部分。

当电气设备通过工作电流时，由于导体有电阻，所以导体就要发热，于是电气设备的温度升高。如果温度过高，绝缘材料就会因过热而损坏。因此，必须对电气设备内部的温度加以限制。例如，橡皮绝缘的铜线，其最高工作温度不超过 65°C ，一般的电动机不超过 120°C 等。

为了使电气设备在工作中的温度不超过最高工作温度，因此，通过它的最大容许电流就必须有一个限制，通常把这