

农业机械化丛书

# 农村电工技术



陕西科学技术出版社

## 内 容 提 要

本书是在比较系统地阐述了电工基本理论的基础上,较全面地介绍了当前农村用电方面所涉及的一些主要技术问题。全书共分为:电工基础知识、配电变压器、农村电力网、三相异步电动机、农村常用低压电器、农村常用电气测量仪表和农村安全用电等七章,并附有计算所需要的资料和主要设备的技术数据。

本书可供具有初中以上文化程度的农村电工、知识青年和干部自学,也可作为农村电工培训的参考教材。

农业机械化丛书

### 农村电工技术

陈正岳 李大志 王新学 编

陕西科学技术出版社出版

陕西省新华书店发行 宝鸡市人民印刷厂印刷

开本787×1092 1/32 印张17.25 字数370,000

1980年3月第1版 1980年3月第1次印刷

印数 1—36,400

统一书号:15202·4 定价:1.75元

## 《农业机械化丛书》

### 出版说明

为了提高农业机械化队伍的技术水平，加快农业机械化的步伐，中央和地方有关出版社联合出版这套《农业机械化丛书》。

《农业机械化丛书》包括耕作机械、农田基本建设机械、排灌机械、植物保护机械、运输机械、收获机械、农副产品加工机械、化肥、农药、塑料薄膜、林业机械、牧业机械、渔业机械、农村小型电站、半机械化农具、农用动力、农机培训、农机管理、农机修理、农机制造等二十类。可供从事农业机械化工作的贫下中农、工人、干部、知识青年和技术人员参考。

本书属于《农业机械化丛书》农机制造类。

## 目 录

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| <b>第一章 电工基础知识</b> .....    | (1)   |
| 第一节 从物质的结构认识电的来源.....      | (1)   |
| 第二节 电场、电位和电压.....          | (4)   |
| 第三节 电路的构成及电流.....          | (11)  |
| 第四节 电源的电动势.....            | (14)  |
| 第五节 导体的电阻.....             | (18)  |
| 第六节 欧姆定律.....              | (22)  |
| 第七节 电功和电功率.....            | (26)  |
| 第八节 电阻的串联和并联.....          | (29)  |
| 第九节 电容器.....               | (35)  |
| 第十节 电流的磁场.....             | (41)  |
| 第十一节 电磁感应.....             | (52)  |
| 第十二节 交流电的基本概念.....         | (64)  |
| 第十三节 正弦交流电的向量表示法.....      | (76)  |
| 第十四节 交流电路的简单计算.....        | (83)  |
| 第十五节 三相交流电路.....           | (109) |
| <b>第二章 配电变压器</b> .....     | (122) |
| 第一节 变压器的基本构造.....          | (123) |
| 第二节 变压器的工作原理及额定值.....      | (126) |
| 第三节 变压器台及变压器装置的主要附属设备..... | (137) |
| 第四节 配电变压器的运行.....          | (151) |

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| <b>第三章 农村电力网</b>              | (157) |
| 第一节 农村有功电力负荷的计算               | (157) |
| 第二节 农村电力网的参数及等值电路             | (171) |
| 第三节 电力网中电压损耗、电能损耗的计算<br>与经济运行 | (177) |
| 第四节 导线截面选择                    | (191) |
| 第五节 农村架空电力线路的简单设计             | (200) |
| 第六节 两线一地制架空线路                 | (217) |
| 第七节 屋内低压线路                    | (221) |
| <b>第四章 三相异步电动机</b>            | (240) |
| 第一节 三相异步电动机的基本结构              | (240) |
| 第二节 三相异步电动机的型号和铭牌             | (243) |
| 第三节 三相异步电动机的转动原理              | (250) |
| 第四节 三相异步电动机的接线                | (258) |
| 第五节 异步电动机的起动方式                | (266) |
| 第六节 异步电动机的运行与维护               | (276) |
| 第七节 三相异步电动机的定子绕组              | (289) |
| 第八节 异步发电机简介                   | (312) |
| <b>第五章 农村常用低压电器</b>           | (321) |
| 第一节 概述                        | (321) |
| 第二节 电弧的产生和熄灭                  | (322) |
| 第三节 闸刀开关                      | (326) |
| 第四节 低压熔断器                     | (333) |
| 第五节 交流接触器和磁力起动器               | (343) |
| 第六节 自动空气开关                    | (354) |
| 第七节 星—三角起动器和自耦减压起动器           | (367) |

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| <b>第六章 农村常用电气测量仪表</b> ..... | (382) |
| 第一节 电气测量指示仪表的一般知识.....      | (382) |
| 第二节 直流电流表和电压表.....          | (391) |
| 第三节 交流电流表和电压表.....          | (396) |
| 第四节 电度表及其测量接线.....          | (405) |
| 第五节 万用表及其使用方法.....          | (411) |
| 第六节 兆欧表及其使用方法.....          | (429) |
| <b>第七章 农村安全用电</b> .....     | (435) |
| 第一节 几种容易发生的触电形式.....        | (435) |
| 第二节 电流对人体的危害.....           | (440) |
| 第三节 加强农村安全用电工作.....         | (443) |
| 第四节 低压触电保安器.....            | (446) |
| 第五节 电气设备金属外壳的接地与接零.....     | (455) |
| 第六节 农村电工安全用具.....           | (458) |
| 第七节 触电急救.....               | (461) |

## 附 录

|                                                    |       |
|----------------------------------------------------|-------|
| 附录一 电气接线图中常用设备图形符号 (节录) ...                        | (467) |
| 附录二 常用电力变压器及其主要附属设备的技术数据.....                      | (477) |
| 表 2—1 SJ <sub>1</sub> 系列10~5600千伏安电力变压器主要数据表.....  | (477) |
| 表 2—2 SJL <sub>1</sub> 系列20~6300千伏安电力变压器主要数据表..... | (479) |
| 表 2—3 DL系列跌落式熔断器的技术数据.....                         | (489) |

|        |                                      |       |
|--------|--------------------------------------|-------|
| 表 2—4  | RW 系列跌落式熔断器技术数据                      | (490) |
| 表 2—5  | 常用柱上油开关的技术数据                         | (491) |
| 表 2—6  | 阀型避雷器规格                              | (492) |
| 附录三    | 架空线路的有关技术数据                          | (493) |
| 表 3—1  | 铝线敷设的架空线路的电阻和电抗                      | (493) |
| 表 3—2  | 钢芯铝线敷设的架空线路的电阻和电抗                    | (494) |
| 表 3—3  | 架空线路弧垂表                              | (495) |
| 表 3—4  | LJ 型铝线规范表                            | (503) |
| 表 3—5  | LGJ 型钢芯铝线规范表                         | (503) |
| 附录四    | 三相鼠笼型转子异步电动机技术数据                     | (504) |
| 表 4—1  | JO 系列异步电动机技术数据                       | (504) |
| 表 4—2  | J <sub>2</sub> 系列异步电动机技术数据           | (510) |
| 表 4—3  | JO <sub>2</sub> 系列异步电动机技术数据          | (514) |
| 附录五    | 常用低压电器规格                             | (522) |
| 表 5—1  | HK <sub>1</sub> 型胶盖闸刀开关技术数据          | (522) |
| 表 5—2  | HK <sub>2</sub> 型胶盖闸刀开关技术数据          | (522) |
| 表 5—3  | 石板闸刀开关规格                             | (523) |
| 表 5—4  | 开关板闸刀开关结构型式及技术数据                     | (524) |
| 表 5—5  | 铁壳开关 (负荷开关) 规格                       | (525) |
| 表 5—6  | 常用低压熔丝规格                             | (527) |
| 表 5—7  | RCIA 插入式熔断器、熔体规格及在 110% 额定电压时的极限分断能力 | (528) |
| 表 5—8  | RL <sub>1</sub> 系列熔断器技术数据            | (529) |
| 表 5—9  | RLS 系列熔断器技术数据                        | (529) |
| 表 5—10 | RM <sub>10</sub> 系列熔断器技术数据           | (530) |

|        |                                                        |       |
|--------|--------------------------------------------------------|-------|
| 表 5—11 | RTO系列熔断器技术数据·····                                      | (530) |
| 表 5—12 | 常用交流接触器基本技术数据·····                                     | (531) |
| 表 5—13 | QC <sub>10</sub> 系列磁力起动器的型号分类·····                     | (532) |
| 表 5—14 | QC <sub>10</sub> 系列磁力起动器的基本技术数据·····                   | (533) |
| 表 5—15 | DZ <sub>5</sub> 系列自动开关技术数据·····                        | (534) |
| 表 5—16 | DZ <sub>5</sub> 系列自动开关热脱扣器的整定电流<br>调节范围及保护特性·····      | (535) |
| 表 5—17 | DZ <sub>10</sub> 系列自动开关技术数据·····                       | (537) |
| 表 5—18 | DW <sub>10</sub> 系列自动开关的分类·····                        | (538) |
| 表 5—19 | DW <sub>10</sub> 系列自动开关基本技术数据·····                     | (540) |
| 表 5—20 | QX <sub>1</sub> 、QX <sub>2</sub> Y—△起动器等级及控制电动机功率····· | (541) |
| 表 5—21 | QX <sub>3</sub> Y—△起动器等级及控制电动机功率·····                  | (542) |
| 表 5—22 | 常用QJ系列自动减压起动器的规格···                                    | (542) |

# 第一章 电工基础知识

电能具有转换容易、输送经济、控制方便等优点，因此它的用途很大，使用范围非常广泛。电能不仅为工农业生产、交通运输、国防建设、广播通讯以及各种科学技术部门提供了强大的动力，而且也为这些部门的自动化和运动化创造了必要的条件；此外，电能人们的文化和物质生活中也是不可缺少的重要方面。因此，人们通常把电力工业称为国民经济的“先行官”。

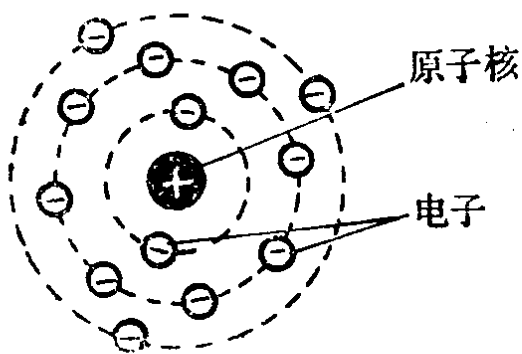
随着科学技术的发展，电工技术已形成许多专业部门。但这些专业部门都建立在一个共同的理论基础上，那就是电工基础理论知识。对于从事电工技术的人来说，只有学习和掌握了有关电工基础理论知识，才能更快地提高生产技术水平，为加速实现四个现代化做出贡献。为此，本书第一章先介绍电工基础知识。

初学电工知识的人认为，电既看不见，又不敢摸，感到很抽象，因此，常常提出这样的问题：电究竟是从哪里来的？为了解决这个问题，我们先从物质的结构谈起。

## 第一节 从物质的结构认识电的来源

人们通过长期的生产实践和科学实验认识到，所有物质都是由分子组成的。分子是一种能够单独存在、并保持原来

物质的一切化学性质的最小微粒。各种分子又是由原子组成的，而原子已不再具有原来物质的化学性质。到二十世纪初叶，科学实验证明，原子是由质子、中子和电子三种基本粒子所组成。质子带正电，中子不带电，它们结合成原子核；电子带负电，它环绕原子核高速旋转。不同元素的原子，其质量以及核外电子数和排列方式各不相同。例如：化学元素中最轻的原子是氢原子，它的质量为 $1.673 \times 10^{-24}$  克，核外只有一个电子；一个铜原子，核外有29个电子，分布在四层



轨道上绕原子核旋转，最外层轨道上为 1 个电子；一个铝原子，核外有13个电子，分布在三层轨道上绕原子核旋转，最外层轨道上为 3 个电子。图 1—1 为 铝原子的 结构 示意

图 1—1 铝原子结构示意图 图。

在正常状态下，原子核中的质子数与核外电子数相等，而且每一个质子所带的正电荷与一个电子所带的负电荷在数量上是相等的。即原子核所带正电荷的数量与核外电子所带负电荷的总量是相等的。因此，在正常状态下，原子呈电中性。由此可知，在正常状态下，在物体的每个足够大的体积内部存在着等量的正电荷和负电荷，因而对外界不显示电性。如果在某种外因的作用下(如摩擦、光照等)，使一个物体内部的原子失去一部分电子，另一物体获得多余的电子，这就破坏了物体的电中性状态，于是，两个物体对外界都显示出带电现象。失去电子的物体带正电，获得电子的物体带

负电；而且带正电的物体所失去的电子数，必等于带负电的物体所获得的电子数，称为电荷守恒定律。所以说，物体的带电过程就是物体之间电子重新分配的过程。

根据大量实验和理论研究，现在我们知道，自然界中只存在着两种性质不同的电荷，一种是负电荷，另一种是正电荷；电荷与电荷之间有相互作用力，同性电荷互相排斥，异性电荷互相吸引。物体所带电荷的量值称为电量，用符号 $Q$ 或 $q$ 表示。在实用单位制中，电量的单位为库仑，简称库。

1库仑的电量约为 $6.25 \times 10^{18}$ 个电子所带电量的总和。

从以上事实可以了解，由于物体的原子内部包含着正电荷与负电荷这一对矛盾，因此能够在外因的作用下使物体产生带电现象。我们平时所说的电，就是指电荷对外界所表现出的各种现象。

既然一切物体的原子内部都包含着正电荷与负电荷，为什么有的物体容易导电，而有的物体却不容易导电呢？这是因为不同物体的原子内部还包含着本身的特殊矛盾的缘故。各种金属原子和碳原子的最外层电子，很容易脱离原子核的引力范围，在原子之间作不规则的运动，这些电子称为自由电子。当金属的某一部分得到多余电子时，这些电子就以自由电子的状态传到其他部分去；当它失去电子时，其他部分的自由电子就移来补充。因此，金属物体具有良好的导电性能，故称为导体。

空气、玻璃、云母、橡胶、塑料、陶瓷以及干燥的木材等一类物体，原子的最外层电子不容易脱离原子核的引力范围，因而自由电子很少，导电性能很差，故称为绝缘体。还有一些物体（如硅、锗等），其内部的自由电子数比导体少

得多，但比绝缘体多一些；或者在平常温度下自由电子数不多，但随着温度的升高自由电子数显著增加，这类物体的导电性能介于导体与绝缘体之间，故称为半导体。

导体和绝缘体是最常用的两种电工材料，它们各有不同的用途。导体可以给电子运动构成一个畅通的路径，所以，各种导线以及电动机、变压器的线圈都用导体作成；而在不允许通电的地方，则用绝缘材料把电隔开。例如，一般在导线外边包有用橡皮或塑料做成的绝缘层；灯头与开关的外壳都用电木做成等。必须注意，绝缘材料的不导电性是有一定条件的，它与电压、温度、湿度等因素有关。就是说，在一定条件下为绝缘的物体，但在条件变化后可能会失去绝缘性能。例如单层黑胶布，在250伏以下的电压条件下是绝缘体，但在几千伏电压下就会被击穿而失去绝缘作用；又如干燥的木材是绝缘体，但受潮之后就会失去绝缘性能而导电。因此，为了安全用电，必须注意绝缘材料的使用条件。

## **第二节 电场、电位和电压**

### **一、电场及其特性**

辩证唯物论认为，任何两个物体之间的相互作用力不能脱离物质而存在。就是说，物体间的相互作用力，或者是依靠物体的直接接触来传递，或者是通过其他物质作媒介来传递。例如：用手直接拉车，手与车的作用力是依靠直接接触而传递的；用手通过绳子拉车，虽然手与车不是直接接触，但通过手与绳子的相互作用和绳子与车的相互作用将力传递过去。地球对物体的吸引力，则是通过一种特殊的物质——重

力场而传递的。

前面已经谈到，电荷与电荷之间存在着相互作用力。例如在图 1—2 中，一个固定在绝缘柄上的带电金属球 A，对悬挂在附近的其他带电小球都有作用力，即使把这些带电体放在真空中，这种作用力仍然存在。为什么电荷之间的相互作用力能发生在没有分子、原子存在的真空中呢？近代物理学证明：在电荷的周围

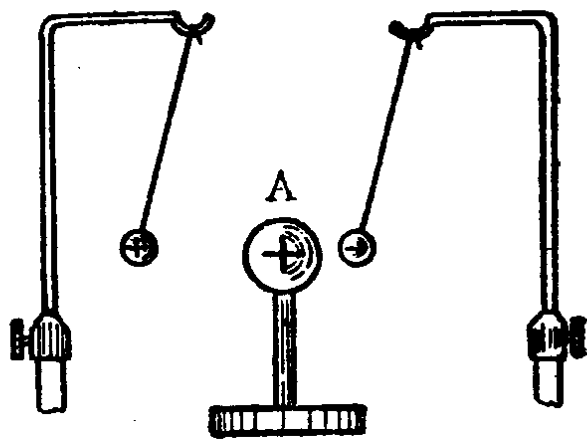


图 1—2 电荷间的相互作用

空间存在着一种特殊形态的物质，叫做电场。电荷间的相互作用力是靠电场来传递的。

电荷与电场是同一存在的两个方面，只要有电荷存在，在它的周围就一定有电场，它们永远是不可分割的整体。对观察者相对静止的电荷所形成的电场，称为静电场。本节所讨论的电场是指静电场，它具有以下两个重要的物理性质：

1. 电场是一种特殊形态的物质，它对位于电场中的其他电荷有力的作用，这种力称为电场力。因此，可以用电荷来检验电场的存在；

2. 电荷在电场力的作用下发生移动时，电场要对电荷做功，这表明电场中具有能量。

## 二、电场强度

电场对电荷的作用，是电场的一种重要属性；而电场对电荷的作用力，则是这种属性的具体表现。为了研究电场中

某一点的性质，我们可以利用试验电荷 $q_0$ 来进行探测。所谓“试验电荷”，是一个电量极微、体积很小的正电荷，把它放入电场中不致影响原来的电场。

设有一个带正电荷的小球，为了观察它周围电场中各点的情况，我们把试验电荷 $q_0$ 依次放在电场中的不同位置上。我们会发现， $q_0$ 在不同点上所受到的电场力的大小和方向均不相同。这种现象表明，电场是具有方向性的，而且各点的强弱也不相等。如果在电场中的同一点上，当改变试验电荷的电量时，则试验电荷所受电场力的方向不变，但力的大小与试验电荷所带电量成正比变化。由此可知，试验电荷在电场中某一点所受到的电场力 $F$ 与试验电荷所带电量 $q_0$ 的比值，是一个常量，它反映了电场中某一点的特性，而与试验电荷的电量无关。因此，我们就把试验电荷在电场中某一点所受的电场力 $F$ 与试验电荷所带电量 $q_0$ 的比值，定义为该点的电场强度，用符号 $\epsilon$ 表示。即

$$\epsilon = \frac{F}{q_0} \quad (1-1)$$

电场强度是用来表示电场中某一点特性的物理量。因为电场力 $F$ 是向量，所以电场强度 $\epsilon$ 也是向量，并规定：正试验电荷在电场中某一点所受电场力的方向，为该点电场强度的方向。某点电场强度的方向，也就是该点电场的方向。在实用单位制中，电场力 $F$ 的单位为牛顿，电量 $q_0$ 的单位为库仑，则电场强度 $\epsilon$ 的单位为牛顿/库仑 = 伏/米。

### 三、电力线

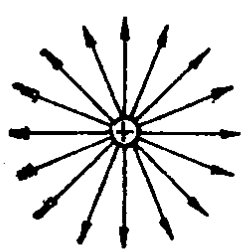
为了直观而形象地描绘电场，通常在电场中按照一定的

原则画一些假想的线条，以表示电场的方向和强弱，这些线条叫做电力线。绘制电力线的原则是：

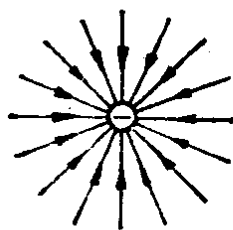
(1) 电力线上任意一点的切线方向，都必须和该点电场强度的方向一致；

(2) 与电场强度方向相垂直的单位面积上所通过的电力线的数量，与该点电场强度的大小成正比。也就是说，空间各点电力线的疏密程度，与该点电场强度的大小成正比。

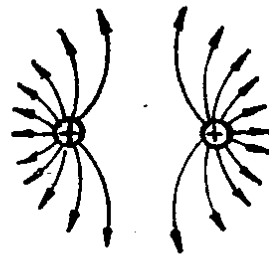
图 1—3 就是根据上述原则画出的几种电场的电力线。



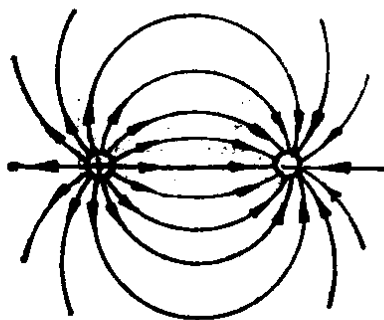
(1)



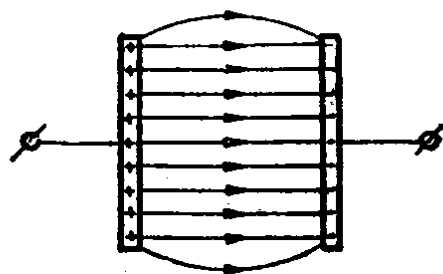
(2)



(3)



(4)



(5)

图 1—3 几种电场的电力线

- (1) 孤立正电荷的电力线； (2) 孤立负电荷的电力线；  
(3) 两个带有等量正电荷球体的电力线；  
(4) 两个带有等量异性电荷球体的电力线；  
(5) 两个带有等量异性电荷平行板间的电力线。

从图中可以看出，电力线具有以下特点：

(1) 电力线总是从正电荷发出，而终止于负电荷。因此，电力线不是闭合的回线；

(2) 电力线必须垂直于带电体的表面，而且任何两条电力线都不能相交。

从图 1—3 中还可以看出，带电球体所形成的电场中，各点电力线的方向和密度均不相同，这种电场称为非均匀电场。而两个互相靠近的均匀带电平板之间所形成的电场〔如图 1—3 (5)〕，其中间部分各点电力线的密度相等，方向相同，具有这种特点的电场称为均匀电场。

电力线虽然是一些假想的线，但可以用实验的方法进行演示。例如，将奎宁晶粒或细木屑悬浮于蓖麻油中，再把不同形状的电极浸入油中并接入直流电源，就可以观察到这些微粒有次序地排列成类似电力线的图形，如图 1—4 所示。由此可见，电力线并非是凭空想出来的。

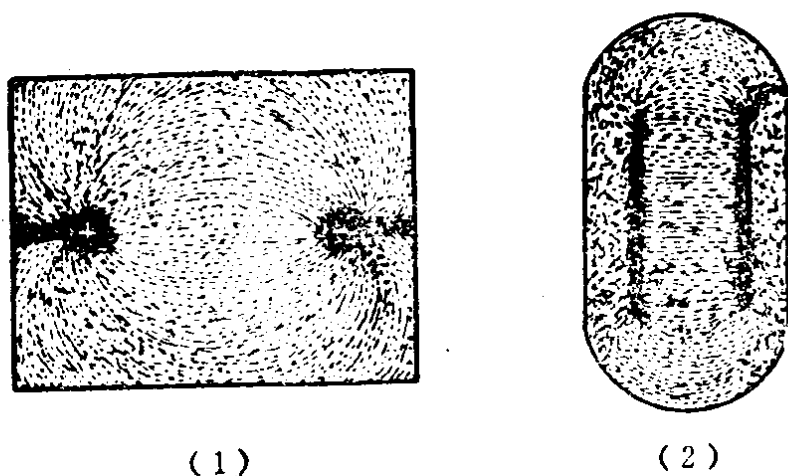


图 1—4 电力线的演示

(1) 两个带有等量异性电荷球体的电场；

(2) 两个带有等量异性电荷平板间的电场。

## 四、电位和电压

在后面将要讨论的电路中，将经常用到电位和电压的概念。下面，我们来介绍什么叫电位，什么叫电压。

### 1. 电位的概念

大家知道，当外力把某一物体由低处移到高处时，外力必须克服重力而对物体做功，从而使物体的重力位能（又称势能）增加；反之，当物体沿着重力方向由高处下落时，则重力对物体做功，从而使物体的重力位能减小。电荷在电场中移动时，与上述情况很相似。当试验电荷 $q_0$ 逆着电场方向移动时，必然是外力反抗电场力而对试验电荷做功，从而使试验电荷的位能增加；相反，当试验电荷顺着电场方向移动时，则电场力对试验电荷做功，其结果使试验电荷的位能减小。就是说，一定电量的电荷，在电场中某一点都具有一定的位能，这种位能称为电位能。

实验证明，试验电荷在电场中某一点所具有的电位能，不仅与试验电荷所处的位置有关，而且还与试验电荷所带的电量成正比。也就是说，试验电荷在电场中某点所具有的电位能 $W$ 与试验电荷所带电量 $q_0$ 的比值 $W/q_0$ 是一个常量，它反映了电场某一点的特性，而与试验电荷的电量无关。因此就把试验电荷在电场中某一点所具有的电位能与试验电荷所带电量的比值，定义为该点的电位，用符号 $\varphi$ 表示。即

$$\varphi = \frac{W}{q_0} \quad (1-2)$$

电位也是表示电场中某点电场性质的物理量。但因为电位能不是向量，所以电位也不是向量。在实用单位制中，能