

概 述

城市轨道交通的供电电源要求安全可靠，通常由城市电网供给。轨道交通供电系统由外部电源、主变电所、牵引供电系统、照明供电、监控系统等构成。目前轨道交通供电方式分为集中式供电、分散式供电、混合式供电，国内大多数城市轨道交通采用的是集中式供电方式。供电综合工作为城市轨道交通供电系统的关键岗位，担负着供电系统各设备的日常巡检、维保检修、故障应急处理等任务。在日常运营生产和应急抢修中起着举足轻重的作用，为供电系统设备正常运行提供有力保障。其主要岗位职责及所负责的供电设备如下：

供电综合工的主要岗位职责有：

- 日常巡检：对 110 kV 电源电缆、35 kV 环网电缆、变电所内设备等的状态、运行参数及运行环境等进行常规巡查并记录。
- 设备维护：根据检修规程，对变电所内各设备进行维护及各项试验，包括高压试验、保护校验、预防性试验等项目。
- 故障处理：对供电设备出现的各类故障及缺陷进行处理，使设备系统恢复正常功能。
- 应急抢险：当现场出现突发状况或较大故障影响运营时，负责现场应急抢险工作。
- 属地管理：对变电所进行环境卫生、消防设施等属地管理工作，为供电系统设备营造良好运行环境。

供电综合工所负责的供电设备主要有以下几个部分：

- 主变电所系统：包括由地方电网变电站至地铁主变电所的外线电缆、110 kV GIS 系统、主变压器系统、35 kV GIS 系统、SVG 系统、电抗器、接地变压器、主所站用电系统、微机综合自动化系统。

- 中压环网交流系统：包括 35 kV GIS 系统、35 kV 电缆。

- 所内动照系统：动力变压器。

- 直流牵引供电系统：包括变压器、1500 V 直流开关柜、整流器、1500 V 直流电缆、上网隔离开关柜。

- 电力监控系统：包括控制信号屏、电动隔离开关监控系统。

- 杂散电流防护系统：包括单向导通装置、排流柜、杂散电流监测微机管理系统、回流箱。

- 防雷接地系统：包括综合接地网、接地扁钢、架空地线、避雷器等设备。

随着轨道交通供电系统设备技术的不断更新及成都地铁线网的不断发展，供电综合工也需要结合岗位实际需求掌握更多、更全面的供电系统知识，提升专业知识和专业技能水平，为提高地铁线网运行模式下的生产效率和保障供电系统的安全运营打好坚实的基础。

第一部分 基础知识

第一章 电工基础知识

【本章学习重点】

1. 电路的基本概念和基本定律；
2. 直流电路的基本定律；
3. 电容器的基本特性；
4. 电感的基本特性；
5. 正弦交流电路与三项交流电路的特点与基本定律。

第一节 电路元件

第一目 电容器和电容

一、电容器和电容

杯、桶可以盛水，油箱可以贮油，气罐可以贮气。什么容器可以储存电荷呢？那就是电容器。

两块金属平板，中间隔以绝缘材料，就构成一个电容器。两块金属板称为极板，通过电极可以接到电路中去。极板之间的绝缘材料称为电介质。极板可以有各种形式，平板电容器是一种最简单的电容器。

把电容器的两个电极分别与直流电源的正、负极相连时，两块极板上便会带有等量而异种的电荷 $+Q$ 和 $-Q$ ， Q 称为电容器的电荷量。如果移去电源，正、负电荷仍然保留在极板上，所以电容器可以储存电荷，或者说，可以容纳电荷。

实验指出，加在电容器极板间的电压 U 越高，极板上的电荷量 Q 就越多。也就是说，电容器的电荷量与其端电压成正比，两者的比值 $\frac{Q}{U}$ 是一个常量。对不同的电容器，这个比值一般是不同的。在电压 U 相同的条件下，比值越大，表示电容器所带的电荷量越多。因此，这个比值反映了电容器储存或容纳电荷能力的大小，称为电容器的电容量，简称电容，用大写字母 C 表示，即

$$C = \frac{Q}{U} \quad (1-1)$$

在国际单位制中，电容的单位是法拉，简称法，用符号 F 表示。由于法拉的单位太大实际应用中常用微法（ μF ）和皮法（ pF ）作为电容的单位。它们之间的关系为

$$1F = 10^6 \mu F = 10^{12} pF \quad (1-2)$$

除了专门制造的电容器外，实际电路中还存在自然形成的电容器。例如两条输电线之间、输电线与大地之间、三极管电极之间都能形成电容器，它们的电容称为分布电容。

二、电容元件

实际的电容器其绝缘介质的电阻不可能为无限大，加上电压后，就会有很少量的电流通过电介质，这个电流叫作泄漏电流，它会引起能量损耗。交变电压作用下，电介质的分子会反复运动，使电介质发热而产生能量损耗。一般情况下，电容器的这些损耗都很小，如果忽略不计，就是一个理想电容器，也就可以用一个电容元件作为实际电容器的模型。

电容元件是一个理想电路元件，它只表征具有储存电荷和电场能量的性质。

第二目 电容元件的串联和并联

为了满足所需的电容量和工作电压，在电路中常将电容器组合起来使用。

一、电容器的串联

电容器串联电路的特点是：

(1) 每个电容器上的电荷量相等，即

$$Q = Q_1 = Q_2 = \cdots = Q_n \quad (1-3)$$

(2) 总电压等于各电容器电压之和，即

$$U = U_1 + U_2 + \cdots + U_n \quad (1-4)$$

(3) 等效电容的倒数等于各电容倒数之和。将式(1-4)两边同除以 Q ，有

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \cdots + \frac{1}{C_n} \quad (1-5)$$

电容器串联之后，相当于增大了两极板间的距离，因此，总电容小于每一个电容器的电容。

(4) 每个电容器分得的电压与其电容量成反比。由每个电容器上的电压 $U = \frac{Q}{C}$ 可以推出

$$U_1 : U_2 : \cdots : U_n = \frac{1}{C_1} : \frac{1}{C_2} : \cdots : \frac{1}{C_n} \quad (1-6)$$

对于两个电容器串联，则 C_1 、 C_2 分得的电压分别为

$$U_1 = \frac{C_2}{C_1 + C_2} U \quad U_2 = \frac{C_1}{C_1 + C_2} U \quad (1-7)$$

式 (1-7) 为两电容器串联时的分压公式。由此可见，由于串联电容器上的电荷量相等，因此小电容上所承受的电压高，而大电容上所承受的电压反而低，这一点在使用时应予以注意。

二、电容器的并联

电容器并联电路的特点是：

(1) 每个电容器两端的电压相等，即

$$U = U_1 = U_2 = \cdots = U_n \quad (1-8)$$

显然，为了使各个电容器都能够安全工作，工作电压 U 不得超过它们中的最低耐压值。

(2) 总电荷等于各电容器上电荷量之和，即

$$Q = Q_1 + Q_2 + \cdots + Q_n \quad (1-9)$$

(3) 等效电容等于各电容之和，有

$$C = C_1 + C_2 + \cdots + C_n \quad (1-10)$$

可见，电容器并联后，等效电容量增大。因此，当电路中单个电容器的电容量不够时，可以通过并联来增加电容量。电容器串联可以提高耐压值，因而可以解决工作中单个电容器耐压不够的问题；而电容器并联则可以提高电容值，以获得电路中所需的电容量。

第三目 电容器的充电和放电

一、电容器的充电

如图 1-1 所示,在开关 S 没有闭合之前,电容器没有电荷储存,其电压为零,记为 $u_C(0_-) = 0\text{ V}$, 0_- 表示开关闭合前的最后一个时刻。在开关 S 合向位置 1 的瞬间 (0 时刻),电源通过电阻 R_1 向电容器充电,由于电容器上的电荷量不能够突变,因此在充电起始时刻 (0_+ 时刻),电容器电压也为零,因此 $u_C(0_+) = u_C(0_-) = 0\text{ V}$ 。即:电容器在接通电源的前后,其电压保持不变。由于电容电压保持为零,所以,此时电容器相当于短路。

在充电起始时刻,电容电压 $u_C(0_+) = 0\text{ V}$,因此充电电流最大,为 $i_1 = I_{10} = \frac{U}{R_1}$ 。随着充电的进行,电荷不断积累, u_C 逐渐升高, i_1 随之减小。当电容电压 $u_C = U$ 时,充电电流 $i_1 = 0$,充电过程结束,电路进入稳定状态。充电过程中, u_C 和 i_1 均按照指数规律变化,其变化曲线如图 1-2 所示。

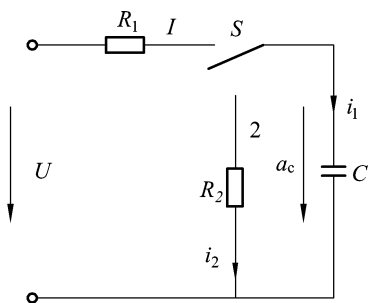


图 1-1 电容器充电、放电电路图

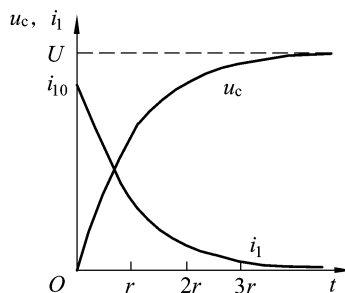


图 1-2 充电时的 u_C 和 i_1 曲线

电容器充电时,吸收电源能量,将它转化为电场能量在电容器中储存。可以证明,电场能 W_C 与电容量 C 、电容器两端电压 u 的关系为

$$W_C = \frac{1}{2}Cu^2 \quad (1-11)$$

二、电容器的放电

图 1-1 中，若在电容器充电后将开关 S 迅速合向位置 2，电容器就会通过电阻 R_2 放电。在放电开始的瞬间，电容器两端的电压最高，因此放电电流也最大，其值为 $i_2=I_{20}=\frac{U}{R_2}$ ，方向与 i_1 相反。随着放电的进行，两电极上的电荷不断减少，电容电压 u_C 逐渐下降，放电电流 i_2 随之减小。当电容电压 $u_C=0$ 时，放电电流 $i_2=0$ ，放电过程结束，电路进入稳定状态。放电过程中的 u_C 和 i_1 均按指数规律变化，其变化曲线如图 3-9 所示。

电容器放电时，把充电时吸收的电源能量逐渐释放出来，并为电阻所消耗，而电容器本身并不消耗电能，所以它是一种储能元件。

电容器充电后短接放电的热能可以用于焊接，一种叫作电容储能电焊的设备用于将金属的极小部分熔化而焊接在一起，由于每次放电能量相同，可以保证焊接的质量。电火花加工也是利用电容放电时的火花，使硬金属表面刻蚀出文字或图案。照相机的闪光灯，是利用充好电的电容器对线圈放电，在另一线圈感应高电压，触发闪光灯而发光。电容储能的应用很广。但应注意，电容器或有电容的设备从电路中被切除时，仍保持一定的电压，储有一定的电场能，因而切除后必须先将这些设备短接放电。特别是电力系统的高压电容器和输电线路，在断电检修时，必须先行放电，否则有被剩余电压击伤的可能。

三、时间常数

由图 1-2 所示的曲线可知，电容器的充电和放电都需要一定的时间。显然，电容量越大，储存的电荷越多，电容器充放电时间就越长；电阻越大，充放电电流越小，充放电时间也越长。由此可见，电容器充放电时间的长短取决于电路中电阻和电容的大小，我们把两者的乘

积称为时间常数，用字母 τ 表示。

$$\tau = RC \quad (1-12)$$

式中 τ ——时间常数 (s)；

R ——充电或放电回路的电阻 (Ω)；

C ——电容量 (F)。

从理论分析可知，电容器的充、放电过程必须经过无限长时间才能结束。但当 $t=5\tau$ 时，电流已经接近于 0，因此可以认为充、放电过程基本结束。

综上所述，可以得到以下几点结论：

(1) 电容器两端的电压不能突变，要达到新的稳定值，必须有一定的充、放电时间。

(2) 电容器在接通电源的瞬间，充电电流最大；电路达到稳定时，电容器中的电流为零，相当于开路。

(3) 电容器是储能元件，不消耗电能，其充、放电过程实际是能量转换过程。

(4) 选择不同的 R 、 C 值，可以改变充、放电的快慢。

第四目 电感器

一、电感器的简介

电感器是能够把电能转化为磁能而存储起来的元件。电感器的结构类似于变压器，但只

有一个绕组。电感器具有一定的电感，它只阻碍电流的变化。如果电感器在没有电流通过的状态下，电路接通时它将试图阻碍电流流过它；如果电感器在有电流通过的状态下，电路断开时它将试图维持电流不变。电感器又称扼流器、电抗器、动态电抗器。

二、电感的特性

电感器的特性与电容器的特性正好相反，它具有阻止交流电通过而让直流电顺利通过的特性。直流信号通过线圈时的电阻就是导线本身的电阻压降很小。当交流信号通过线圈时，线圈两端将会产生自感电动势，自感电动势的方向与外加电压的方向相反，阻碍交流电的通过，所以电感器的特性是通直流、阻交流，频率越高，线圈阻抗越大。电感器在电路中经常和电容器一起工作，构成 LC 滤波器、LC 振荡器等。另外，人们还利用电感的特性，制造了阻流圈、变压器、继电器等。

通直流：指电感器对直流电呈通路状态，如果不计电感线圈的电阻，那么直流电可以“畅通无阻”地通过电感器，对直流而言，线圈本身电阻对直流的阻碍作用很小，所以在电路分析中往往忽略不计。

阻交流：当交流电通过电感线圈时电感器对交流电存在着阻碍作用，阻碍交流电的是电感线圈的感抗。

三、电感的用途