

第四章 双重绝缘、加强绝缘、安全电压和漏电保护

双重绝缘和加强绝缘是在基本绝缘的直接接触电击防护的基础上，通过结构上附加绝缘或加强绝缘，使之具备了间接接触电击防护功能的安全措施。安全电压和漏电保护的原理，本质上都是将作用于人体的电流能量限制到没有危险的程度，不同之处是：前者的着眼点在于对带电部分的电压值进行限制，后者的着眼点在于对作用于人体的电流强度和作用时间进行限制。双重绝缘、加强绝缘、安全电压和漏电保护均属兼有直接接触电击和间接接触电击的安全措施。

第一节 双重绝缘和加强绝缘

一、双重绝缘和加强绝缘的结构

典型的双重绝缘和加强绝缘的结构示意图如图 4-1 所示。现将各种绝缘的意义介绍如下：

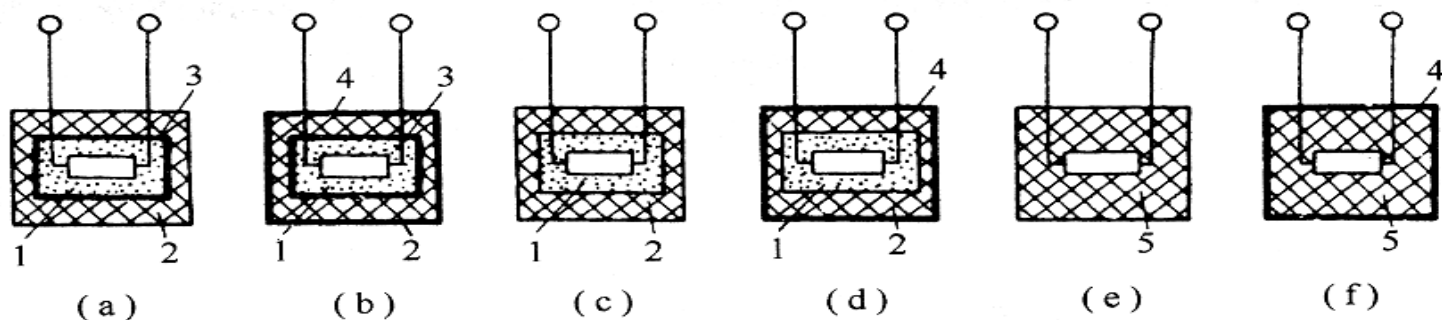


图 4-1 双重绝缘和加强绝缘

1—工作绝缘；2—保护绝缘；3—不可触及的金属件；4—可触及的金属件；5—加强绝缘

工作绝缘，又称基本绝缘或功能绝缘，是保证电气设备正常工作和防止触电的基本绝缘，位于带电体与不可触及金属件之间。

保护绝缘，又称附加绝缘，是在工作绝缘因机械破损或击穿等而失效的情况下，可防止触电的独立绝缘，位于不可触及金属件与可触及金属件之间。

双重绝缘，是兼有工作绝缘和附加绝缘的绝缘。

加强绝缘，是基本绝缘经改进后，在绝缘强度和机械性能上具备了与双重绝缘同等能力的单一绝缘，在构成上可以包含一层或多层绝缘材料。

具有双重绝缘和加强绝缘的设备属于 II 类设备。按外壳特征分为以下三类 II 类设备：

第一类，全部绝缘外壳的 II 类设备。此类设备其外壳上除了铭牌、螺钉、胡钉等小金属，其他金属件都在连接无间断的封闭绝缘外壳内，外壳成为加强绝缘的补充或全部。

第二类，全部金属外壳的 II 类设备。此类设备有一个金属材料制成的无间断的封闭外壳。其外壳与带电体之间应尽量采用双重绝缘；无法采用双重绝缘的部件可采用加强绝缘。

第三类，兼有绝缘外壳和金属外壳两种特征的 II 类设备。

二、双重绝缘和加强绝缘的安全条件

由于具有双重绝缘或加强绝缘，II 类设备无须再采取接地、接零等安全措施，因此，对双重绝缘和加强绝缘的设备可靠性要求较高。双重绝缘和加强绝缘的设备应满足以下安全条件。

1. 绝缘电阻和电气强度

绝缘电阻在直流电压为 500V 的条件下测试，工作绝缘的绝缘电阻不得低于 $2\text{M}\Omega$ ，保护绝缘的绝缘电阻不得低于 $5\text{M}\Omega$ ，加强绝缘的绝缘电阻不得低于 $7\text{M}\Omega$ 。

交流耐压试验的试验电压：工作绝缘为 1250V、保护绝缘为 2500V、加强绝缘为 3750V。对于有可能产生谐振电压者，试验电压应比 2 倍谐振电压高出 1000V。耐压持续时间为 1min，试验中不得发生闪络或击穿。

直流泄漏电流试验的试验电压，对于额定电压不超过 250V 的 II 类设备，应为其额定电压上限值或峰值的 1.06 倍；于施加电压 5S 后读数，泄漏电流允许值为 0.25mA。

2. 外壳防护和机械强度

II类设备应能保证在正常工作时以及在打开门盖和拆除可拆卸部件时,人体不会触及仅由工作绝缘与带电体隔离的金属部件。其外壳上不得有易于触及到上述金属部件的孔洞。

若利用绝缘外护物实现加强绝缘,则要求外护物必须用钥匙或工具才能开启,其上不得有金属件穿过,并有足够的绝缘水平和机械强度。

II类设备应在明显位置标上作为II类设备技术信息一部分的“回”形标志。例如标在额定值标牌上。

3. 电源连接线

II类设备的电源连接线应符合加强绝缘要求,电源插头上不得有起导电作用以外的金属件,电源连接线与外壳之间至少应有两层单独的绝缘层。

电源线的固定件应使用绝缘材料(如使用金属材料),应加以保护绝缘等级的绝缘。

对电源线截面的要求见表 4-1。此外,电源连接线还应经受基于电源连接线拉力试验标准的拉力试验而不损坏。

一般场所使用的手持电动工具应优先选用II类设备。在潮湿场所或金属构架上工作时,除选用安全电压的工具之外,也应尽量选用II类工具。

表 4-1 电源连接线截面积

额定电流 I_N/A	电源线截面积/ mm^2
$I_N \leq 10$	0.75 ^①
$10 < I_N \leq 13.5$	1
$13.5 < I_N \leq 16$	1.5
$16 < I_N \leq Q5$	2.5
$25 < I_N \leq 32$	4
$32 < I_N \leq 40$	6
$40 < I_N \leq 63$	10

注:①当额定电流在 3A 以下、长度在 2m 以下时,允许截面积为 $0.5mm^2$ 。

三、不导电环境

利用不导电的材料制成地板、墙壁等,使人员所处的场所成为一个对地绝缘水平较高的环境,这种场所称为不导电环境或非导电场所。不导电环境应符合如下的安全要求:

第一,地板和墙壁每一点的电阻:500V及以下者不应小于 $50k\Omega$,500V以上者不应小于 100Ω 。

第二,保持间距或设置屏障,使得在电气设备工作绝缘失效的情况下,人体也不可能同时触及到不同电位的导体。

第三,为了维持不导电的特征,场所内不得设置保护零线或保护地线,并应有防止场所内高电位引出场所外和场所外低电位引入场所内的措施。

第四,场所的不导电性能应具有永久性特征,不应因受潮或设备的变动等原因使安全水平降低。

第二节 安全电压

安全电压又称安全特低电压,是属于兼有直接接触电击和间接接触电击防护的安全措施。其保护原理是:通过对系统中可能作用于人体的电压进行限制,从而使触电时流过人体的电流受到抑制,将触电危险性控制在没有危险的范围内。

一、特低电压的区段、限值和额定值

1. 特低电压区段

所谓特低电压区段,是指如下范围:

交流(工频):无论是相对地或相对相之间均不大于 50V(有效值);

直流(无纹波):无论是极对地或极对极之间均不大于 120V。

2. 特低电压限值

限值是指任何运行条件下,任何两导体间不可能出现的最高电压值。特低电压值可作为从电压值的角度评价

电击防护安全水平的基础性数据。我国国家标准 GB3805-83 《安全电压》规定，工频有效值的限值为50V、直流电压的限值为120V。

我国标准还推荐：当接触面积大于 1cm^2 、接触时间超过 1s 时，干燥环境中工频电压有效值的限值为33V、直流电压限值为 70V；潮湿环境中工频电压有效值的限值为16V、直流电压限值为 35V 。

3. 安全电压额定值

我国国家标准 GB3805-83 《安全电压》规定了安全电压的系列，将安全电压额定值（工频有效值）的等级规定为：42V、36V、24V、12V 和 6V。具体选用时，应根据使用环境、人员和使用方式等因素确定。特别危险环境中使用的手持电动工具应采用 42V 安全电压；有电击危险环境中使用的手持照明灯和局部照明灯应采用 36V 或 24V 安全电压，金属容器内、特别潮湿处等特别危险环境中使用的手持照明灯应采用 12V 安全电压；水下作业等场所应采用 6V 安全电压。当电气设备采用 24V 以上安全电压时，必须采取防护直接接触电击的措施。

二、特低电压防护的类型及安全条件

1. 类型

特低电压电击防护的类型分为特低电压 (Extra Low Voltage, 缩写 ELV) 和功能特低电压 (Functional Extra Low Voltage, 缩写 FELV)。其中，ELV 防护又包括了安全特低电压 (Safety Extra Low Voltage, 缩写 SELV) 和保护特低电压 (Protective Extra Low Voltage, 缩写 PELV) 两种类型的防护。但是，根据国际电工委员会相关的导则中有关慎用“安全”一词的原则，上述缩写仅作为特低电压保护类型的表示，而不再有原缩写字的含义，即：不能认为仅采用了“安全”特低电压电源就能防止电击事故的发生。因为只有同时符合规定的条件和防护措施，系统才是安全的。

可将特低电压保护类型分为以下三类：

(1)SELV。只作为不接地系统的安全特低电压用的防护。

(2)PELV。只作为保护接地系统的安全特低电压用防护。

(3)FELV。由于功能上的原因（非电击防护目的），采用了特低电压，但不能满足或没有必要满足 SELV 和 PELV 的所有条件。FELV 防护是在这种前提下，补充规定了某些直接接触电击和间接接触电击防护措施的一种防护。

上述三类中以 SELV 应用最广，国家标准 GB3805-83 《安全电压》中的安全电压相当于 SELV 。

2. 安全条件

要达到兼有直接接触电击防护和间接接触电击防护的保护要求，必须满足以下条件：

(1) 线路或设备的标准电压不超过标准所规定的安全特低电压值。

(2)SELV 和 PELV 必须满足安全电源、回路配置和各自的特殊要求。

(3)FELV 必须满足其辅助要求。

三、SELV和PELV 的安全电源及回路配置

SELV 和 PELV 对安全电源的要求完全相同，在回路配置上有共同要求，也有特殊要求。

1. SELV 和 PELV 的安全电源

安全特低电压必须由安全电源供电。可以作为安全电源的主要有：

(1) 安全隔离变压器或与其等效的具有多个隔离绕组的电动发电机组，其绕组的绝缘至少相当于双重绝缘或加强绝缘。安全隔离变压器的电路图如图 4-2 所示。

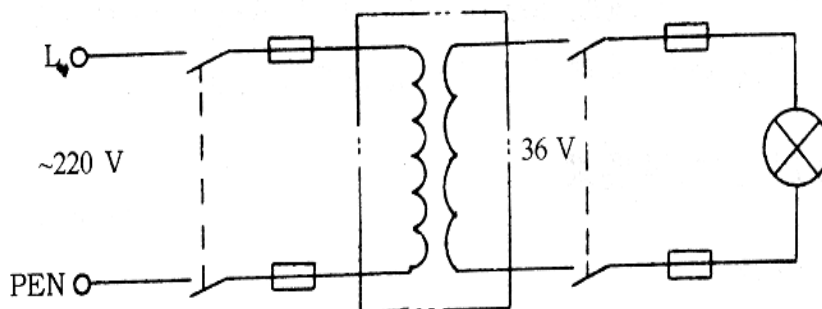


图 4-2 安全隔离变压器电路图

安全隔离变压器的一次与二次绕组之间必须有良好的绝缘；其间还可用接地的屏蔽隔离开来。安全隔离变压器各部分的绝缘电阻不得低于下列数值：

带电部分与壳体之间的工作绝缘	2M Ω
带电部分与壳体之间的加强绝缘	7M Ω
输入回路与输出回路之间	5M Ω
输入回路与输入回路之间	2M Ω
输出回路与输出回路之间	2M Ω
Ⅱ类变压器的带电部分与金属物件之间	2M Ω
Ⅱ类变压器的带电部分与壳体之间	5M Ω
绝缘壳体内、外金属物之间	2M Ω

安全隔离变压器的额定容量：单相变压器不得超过10kVA；三相变压器不得超过1610kVA；电铃用变压器不得超过100VA；玩具用变压器不得超过 200VA。

安全隔离变压器的输入和输出导线应有各自的通道。导线进、出变压器处应有护套。固定式变压器的输入电路中不得采用接插件。

此外，安全隔离变压器各部分的最高温升不得超过允许限值。例如：金属握持部分的温升不得超过20℃；非金属握持部分的温升不得超过 40℃；金属非握持部分的外壳，其温升不得超过 25℃；非金属非握持部分的外壳，其温升不得超过 50℃；接线端子的温升不得超过35℃；橡皮绝缘的温升不得超过 35℃；聚氯乙烯绝缘的温升不得超过 40℃。

(2) 电化电源或与高于安全特低电压回路无关的电源，如蓄电池及独立供电的柴油发电机等。

(3) 即使在故障时仍能够确保输出端子上的电压（用内阻不小于 3k Ω 的电压表测量）不超过特低电压值的电子装置电源等。

2.SELV 和 PELV 的回路配置

SELV 和 PELV 的回路配置都应满足以下要求：

(1) SELV 和 PELV 回路的带电部分相互之间、回路与其他回路之间应实行电气隔离，其隔离水平不应低于安全隔离变压器输入与输出回路之间的电气隔离。尤其是有些电气设备，如继电器、接触器、辅助开关的带电部分，与电压较高线路的任何部分的电气隔离不应小于安全隔离变压器的输入和输出绕组的电气隔离要求，但此要求不排除 PELV 回路与地的连接。

(2) SELV 和 PELV 回路的导线应与其他任何回路的导线分开敷设，以保持适当的物理上的隔离。当此要求不能满足时，必须采取诸如将回路的导线置于非金属外护物中，或将电压不同的回路的导线以接地的金属屏蔽层，或接地的金属护套分隔开等措施。回路电压不同的导线置于同一根多芯电缆或导线组中时，其中 SELV 和 PELV 回路的导线的绝缘必须单独地或成组地按能够耐受所有回路中的最高电压考虑。

四、SELV 及 PELV 的特殊要求。

1.SELV 的特殊要求

(1) SELV 回路的带电部分严禁与大地或其他回路的带电部分或保护导体相连接。

(2) 外露可导电部分不应有意地连接到大地或其他回路的保护导体和外露可导电部分，也不能连接到外部可导电部分。若设备功能要求与外部可导电部分进行连接，则应采取措施，使这部分所能出现的电压不超过安全特低电压。

如果 SELV 回路的外露可导电部分容易偶然或被有意识地与其他回路的外露可导电部分相接触，则电击保护就不能再仅仅依赖于 SELV 的保护措施，还应依靠其他回路的外露可导电部分的保护方法，如发生接地故障时自动切断电源。

(3) 若标称电压超过25V交流有效值或60V无纹波直流值，应装设必要的遮栏或外护物，或者提高绝缘等级；若标称电压不超过上述数值时，除某些特殊应用的环境条件外，一般无须直接接触电击防护。

2.PELV 的特殊要求

实际上，可以将 PELV 类型看做是由 SELV 类型进行接地演变而来。PELV 允许回路接地。由于 PELV 回路的接地，有可能从大地引入故障电压，使回路的电位升高，因此，PELV 的防护水平要求比 SELV 要高。

(1) 利用必要的遮栏或外护物，或者提高绝缘等级来实现直接接触电击防护。

(2) 如果设备在等电位联结有效区域内，以下情况可不进行上述直接接触电击防护。

①当标称电压不超过 25V 交流有效值或 60V 无纹波直流值，而且设备仅在干燥情况下使用，且带电部分不大可能同人体大面积接触时；

②在其他任何情况下，标称电压不超过 6V 交流有效值或 15V 无纹波直流值。

五、EELV 的辅助要求

第一，装设必要的遮栏或外护物，或者提高绝缘等级来实现直接接触电击防护。

第二，当 FELV 回路设备的外露可导电部分与一次侧回路的保护导体相连接时，应在一次侧回路装设自动断电的防护装置，以实现间接接触电击的防护。

六、插头及插座

为了避免经电源插头和插座将外部电压引入，必须从结构上保证 SELV, PELV 及 FELV 回路的插头和插座不致误插入其他电压系统或被其他系统的插头插入。SELV 和 PELV 回路的插座还不得带有接零或接地插孔，而 FELV 回路则根据需要决定是否带接零或接地插孔。

第三节 电气隔离

电气隔离防护的主要要求之一是被隔离设备或电路必须由单独的电源供电。这种单独的电源可以是一个隔离变压器，也可以是一个安全等级相当于隔离变压器的电源。通常电气隔离是指采用电压比为 1:1，即一次侧与二次侧电压相等的隔离变压器，实现工作回路与其他电气回路上的电气隔离。

一、电气隔离的安全原理

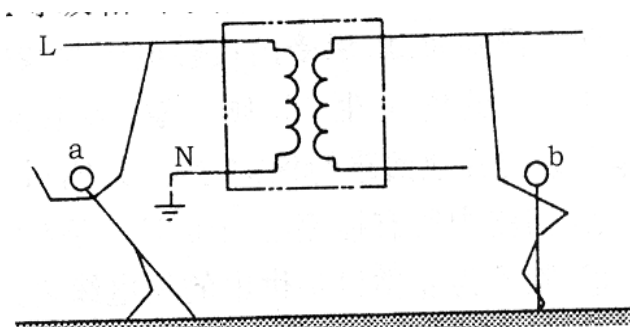


图 4-3 电气隔离原理图

电气隔离实质上是将接地的电网转换为一个范围很小的不接地电网。图 4-3 是电气隔离的原理图。分析图中 a、b 两人的触电危险性可以看出：正常情况下，由于 N 线(或 PEN 线)直接接地，使流经 a 的电流沿系统的工作接地和重复接地构成回路，a 的危险性很大；而流经 b 的电流只能沿绝缘电阻和分布电容构成回路，电击的危险性可以得到抑制。

一、电气隔离的安全条件

单独的供电电源有的仅对单一设备供电，有的同时对多台设备供电。对这两种情况，从安全条件上有其通用的要求，也有各自的特殊要求。

1. 通用要求

(1) 电气上隔离的回路，其电压不得超过 500V 交流有效值。

(2) 电气上隔离的回路必须由隔离的电源供电。使用隔离变压器供电时，隔离变压器必须具有加强绝缘的结构，其温升和绝缘电阻要求与安全隔离变压器相同。最大容量单相变压器不得超过 25kVA、三相变压器不得超过 40kVA。

(3) 被隔离回路的带电部分保持独立，严禁与其他电气回路、保护导体或大地有任何电气连接。应有防止被隔离回路发生故障接地及窜入其他电气回路的措施。

(4) 软电线电缆中易受机械损伤的部分的全长均应是可见的。

(5) 被隔离回路应尽量采用独立的布线系统。

(6) 隔离变压器的二次侧线路电压过高或线路过长都会降低回路对地绝缘水平。因此，必须限制二次侧电压和二次侧线路长度，电压与长度的乘积不应超过 $100000 \text{ V} \cdot \text{m}$ 。此时，布线系统的长度不应超过 200m。

2. 特殊要求

(1) 对单一电气设备隔离的补充要求。当实行电气隔离的为单一电气设备时，设备的外露可导电部分严禁与系统或装置中的保护导体或其他回路的外露可导电部分连接，以防止从隔离回路以外引入故障电压。若设备的外露可导电部分易于与其他回路的外露可导电部分形成接触，则触电防护就不应再依赖于电气隔离，而必须采取电击防护措施，例如实行以外露可导电部分接地为条件的自动切断电源的防护。

(3) 对多台电气设备隔离的补充要求：

① 当实行电气隔离的为多台电气设备时，必须用绝缘和不接地的等电位联结导体相互连接，如图 4-4 所

示。如果没有等电位联结线（图中的虚线），当隔离回路中两台相距较近的设备发生不同相线的碰壳故障时，这两台设备的外壳将带有不同的对地电压。当有人同时触及这两台设备时，则承受的接触电压为线电压，具有相当大的危险性。还须注意，等电位联结导体严禁与其他回路的保护导体、外露可导电部分或任何可导电部分连接。

② 回路中所有插座必须带有供等电位联结用的专用插孔。

③ 除了为Ⅱ类设备供电的软电缆之外，所有软电缆都必须包含一根用于等电位联结的保护芯线；

④ 设置自动切断供电的保护装置，用于在隔离回路中两台设备发生不同相线的碰壳故障时，按规定的自动切断故障回路的供电。

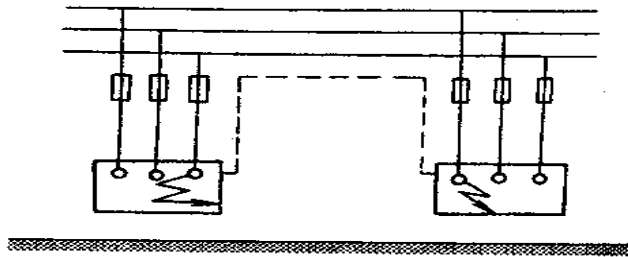


图 4-4 电气隔离的等电位联结

第四节 漏电保护

漏电保护是利用漏电保护装置来防止电气事故的一种安全技术措施。漏电保护装置又称为剩余电流保护装置 (Residual Current Operated Protective Device, 缩写 RCD)。漏电保护装置是一种低压安全保护电器，主要用于单相电击保护，也用于防止由漏电引起的火灾，还可用于检测和切断各种一相接地故障。漏电保护装置的功能是提供间接接触电击保护，而额定漏电动作电流不大于30mA 的漏电保护装置，在其他保护措施失效时，也可作为直接接触电击的补充保护，但不能作为基本的保护措施。

实践证明，漏电保护装置和其他电气安全技术措施配合使用，在防止电气事故方面有显著的作用。本节就漏电保护装置的原理及应用进行介绍。

一、漏电保护装置的原理

电气设备漏电时，将呈现出异常的电流和电压信号。漏电保护装置通过检测此异常电流或异常电压信号，经信号处理，促使执行机构动作，藉助开关设备迅速切断电源。根据故障电流动作的漏电保护装置是电流型漏电保护装置，根据故障电压动作的是电压型漏电保护装置。早期的漏电保护装置为电压型漏电保护装置，因其存在结构复杂、受外界干扰动作特性稳定性差、制造成本高等缺点，已逐步被淘汰，取而代之的是电流型漏电保护装置。电流型漏电保护装置得到了迅速的发展，并占据了主导地位。目前，国内外漏电保护装置的研制生产及有关技术标准均以电流型漏电保护装置为对象。下面主要对电流型漏电保护装置(即 RCD)进行介绍。

1. 漏电保护装置的组成

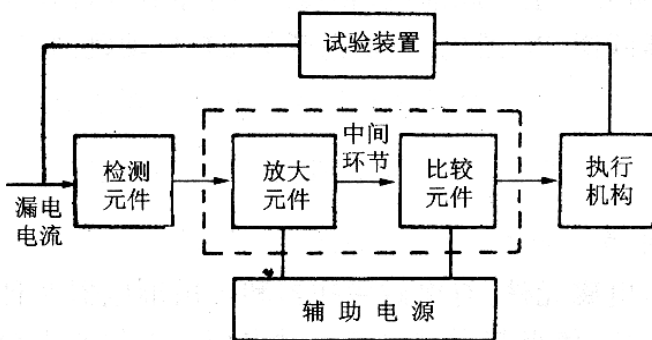


图 4-5 漏电保护器组成框图

图 4-5 是漏电保护装置的组成方框图。其构成主要有三个基本环节，即检测元件、中间环节(包括放大元件和比较元件)和执行机构。其次，还具有辅助电源和试验装置。

(1) 检测元件。它是一个零序电流互感器，如图 4-6 所示。图中，被保护主电路的相线和中性线穿过环行铁心构成了互感器的一次线圈N1，均匀缠绕在环行铁心上的绕组构成了互感器的二次线圈 N2。检测元件的作用是将漏电流信号转换为电压或功率信号输出给中间环节。

(2) 中间环节。该环节对来自零序电流互感器的漏电信号进行处理。中间环节通常包括放大器、比较器、脱扣器(或继电器)等，不同型式的漏电保护装置在中间环节的具体构成上型式各异。

(3) 执行机构。该机构用于接收中间环节的指令信

号，实施动作，自动切断故障处的电源。执行机构多为带有分励脱扣器的自动开关或交流接触器。

(4) 辅助电源。当中间环节为电子式时，辅助电源的作用是提供电子电路工作所需的低压电源。

(5) 试验装置。这是对运行中的漏电保护装置进行定期检查时所使用的装置。通常是用一只限流电阻和检查按钮相串联的支路来模拟漏电的路径，以检验装置能否正常动作。

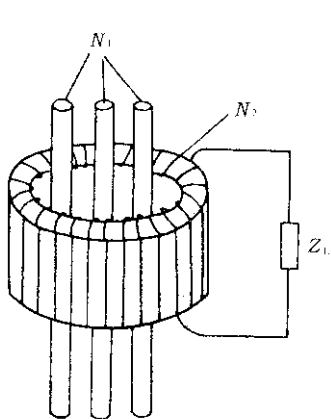


图 4-6 漏电电流互感器

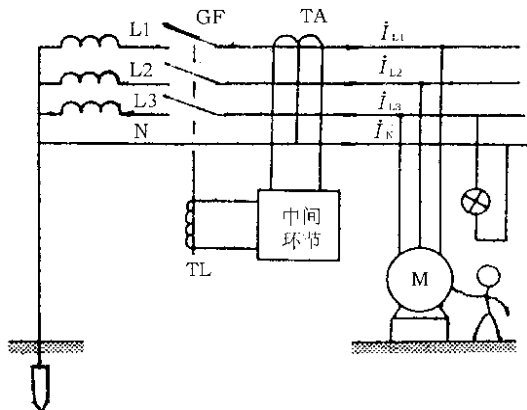


图 4-7 漏电保护器工作原理

2. 漏电保护装置的工作原理

图 4-7 是某三相四线制供电系统的漏电保护电气原理图。现通过此图，对漏电保护装置的原理进行说明。图中 TA 为零序电流互感器，GF 为主开关，TL 为主开关 GF 的分励脱扣器线圈。

在被保护电路工作正常、没有发生漏电或触电的情况下，由克希荷夫定律可知，通过 TA 一次侧电流的相量和等于零。这使得 TA 铁心中磁通的相量和也为零。TA 二次侧不产生感应电动势。漏电保护装置不动作，系统保持正常供电。

当被保护电路发生漏电或有人触电时，由于漏电电流的存在，通过 TA 一次侧各相负荷电流的相量和不再等于零，即产生了剩余电流。这就导致了 TA 铁心中磁通的相量和也不再为零即在铁心中出现了交变磁通。在此交变磁通作用下，TA 二次侧线圈就有感应电动势产生。此漏电信号经中间环节进行处理和比较，当达到预定值时，使主开关分励脱扣器线圈 TL 通电，驱动主开关 GF 自动跳闸，迅速切断被保护电路的供电电源，从而实现保护。

二、漏电保护装置的分类

1. 按漏电保护装置中间环节的结构特点分类

(1) 电磁式漏电保护装置。其中间环节为电磁元件，有电磁脱扣器和灵敏继电器两种型式。电磁式漏电保护装置因全部采用电磁元件，使得其耐过电流和过电压冲击的能力较强，因而无需辅助电源，当主电路缺相时仍能起漏电保护作用。但其灵敏度不易提高，且制造工艺复杂，价格较高。

(2) 电子式漏电保护装置。其中间环节使用了由电子元件构成的电子电路，有的是分立元件电路，有的是集成电路。中间环节的电子电路用来对漏电信号进行放大、处理和比较。其特点是灵敏度高、动作电流和动作时间调整方便、使用耐久。但电子式漏电保护装置对使用条件要求严格，抗电磁干扰性能差，当主电路缺相时，可能会失去辅助电源而丧失保护功能。

2. 按结构特征分类

(1) 开关型漏电保护装置。它是一种将零序电流互感器、中间环节和主开关组合安装在同一机壳内的开关电器，通常称为漏电开关或漏电断路器。其特点是：当检测到触电、漏电后，保护器本身即可直接切断被保护主电路的供电电源。这种保护器有的还兼有短路保护及过载保护功能。

(2) 组合型漏电保护装置。它是一种由漏电继电器和主开关通过电气连接组合而成的漏电保护装置。当发生触电、漏电故障时，由漏电继电器进行信号检测、处理和比较，通过其脱扣器或继电器动作，发出报警信号；也可通过控制触点去操作主开关切断供电电源。漏电继电器本身不具备直接断开主电路的功能。

3. 按安装方式分类

(1) 固定位置安装、固定接线方式的漏电保护装置；

(2) 带有电缆的可移动使用的漏电保护装置。

4. 按极数和线数分类

按照主开关的极数和穿过零序电流互感器的线数可将漏电保护装置分为：单极二线漏电保护装置、二极漏电

保护装置、二极三线漏电保护装置、三极漏电保护装置、三极四线漏电保护装置和四极漏电保护装置。其中单极二线漏电保护装置、二极三线漏电保护装置、三极四线漏电保护装置均有一根直接穿过零序电流互感器而不能被主开关断开的中性线。

5. 按运行方式分类

(1) 不需要辅助电源的漏电保护装置；

(2) 需要辅助电源的漏电保护装置。此类中又分为辅助电源中断时可自动切断的漏电保护装置和辅助电源中断时不可自动切断的漏电保护装置。

6. 按动作时间分类

按动作时间可将漏电保护装置分为：快速动作型漏电保护装置、延时型漏电保护装置和反时限型漏电保护装置。

7. 按动作灵敏度分类

按动作灵敏度可将漏电保护装置分为：高灵敏度型漏电保护装置、中灵敏度型漏电保护装置和低灵敏度型漏电保护装置。

三、漏电保护装置的主要技术参数

1. 关于漏电动作性能的技术参数

关于漏电动作性能的技术参数是漏电保护装置最基本的技术参数，包括漏电动作电流和漏电动作时间。

(1) 额定漏电动作电流 ($I_{\Delta n}$)。它是指在规定的条件下，漏电保护装置必须动作的漏电动作电流值。该值反映了漏电保护装置的灵敏度。

我国标准规定的额定漏电动作电流值为：6mA、10 mA、(15 mA)、30 mA、(50 mA)、(75 mA)、100 mA、(200 mA)、300 mA、500 mA、1000 mA、3000 mA、5000 mA、10000 mA、20000 mA共15个等级（带括号的值不推荐优先采用）。其中，30 mA及以下者属于高灵敏度，主要用于防止各种人身触电事故；30 mA以上至1000mA者属中灵敏度，用于防止触电事故和漏电火灾；1000mA 以上者属低灵敏度，用于防止漏电火灾和监视一相接地事故。

(2) 额定漏电不动作电流 ($I_{\Delta no}$)。它是指在规定的条件下，漏电保护装置必须不动作的漏电不动作电流值。为了防止误动作，漏电保护装置的额定不动作电流不得低于额定动作电流的 1/2。

(3) 漏电动作分断时间。它是指从突然施加漏电动作电流开始到被保护电路完全被切断为止的全部时间。为适应人身触电保护和分级保护的需要，漏电保护装置有快速型、延时型和反时限型三种。快速型适用于单级保护，用于直接接触电击防护时必须选用快速型的漏电保护装置。延时型漏电保护装置人为地设置了延时，主要用于分级保护的首端。反时限型漏电保护装置是配合人体安全电流—时间曲线而设计的，其特点是漏电流愈大，则对应的动作时间愈小，呈现反时限动作特性。

快速型漏电保护装置动作时间与动作电流的乘积不应超过 30mA·s。

我国标准规定漏电保护装置的动作时间见表 4-2，表中额定电流 $\geq 40A$ 的一栏适用于组合型漏电保护装置。延时型漏电保护装置延时时间的优选值为：0.2s、0.4s、0.8s、1s、1.5s、2s。

2. 其他技术参数

漏电保护装置的其他技术参数的额定值主要有：

(1) 额定频率为 50Hz；

(2) 额定电压为 220V 或 380V；

(3) 额定电流 (I_n) 为 6A、10A、16A、20A、25A、32A、40A、50A、(60A)、63A、(80A)、100A、(125A)、160A、200A、250A（带括号值不推荐优先采用）。

3. 接通分断能力

漏电保护装置的接通分断能力应符合表 4-3 的规定。

表 4-2 漏电保护装置的动作时间

额定动作电流 $I_{\Delta n}/mA$	额定电流 /A	动作时间/s			
		$I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$	0.5A	$5I_{\Delta n}$
《30	任意值	0.2	0.1	0.04	
>30	任意值	0.2	0.1		0.04

	≥ 40	0.2			0.15
--	-----------	-----	--	--	------

表 4-3 漏电保护开关的分断能力

额定动作电流 $I_{\Delta n}/\text{mA}$	接通分断电流/A
$I_{\Delta n} \leq 10$	≥ 300
$10 < I_{\Delta n} \leq 50$	≥ 500
$50 < I_{\Delta n} \leq 100$	≥ 1000
$100 < I_{\Delta n} \leq 150$	≥ 1500
$150 < I_{\Delta n} \leq 200$	≥ 2000
$200 < I_{\Delta n} \leq 250$	≥ 3000

四、漏电保护装置的应用

1. 漏电保护装置的选用

选用漏电保护装置应首先根据保护对象的不同要求进行选型，既要保证在技术上有效，还应考虑经济上的合理性。不合理的选型不仅达不到保护目的，还会造成漏电保护装置的拒动作或误动作。正确合理地选用漏电保护装置，是实施漏电保护措施的关键。

(1) 动作性能参数的选择：

① 防止人身触电事故。用于直接接触电击防护的漏电保护装置应选用额定动作电流为 30mA 及其以下的高灵敏度、快速型漏电保护装置。

在浴室、游泳池、隧道等场所，漏电保护装置的额定动作电流不宜超过 10mA。在触电后，可能导致二次事故的场合，应选用额定动作电流为 6mA 的快速型漏电保护装置。

漏电保护装置用于间接接触电击防护时，着眼点在于通过自动切断电源，消除电气设备发生绝缘损坏时因其外露可导电部分持续带有危险电压而产生触电的危险。例如，对于固定式的电机设备、室外架空线路等，应选用额定动作电流为 30mA 及其以上的漏电保护装置。

② 防止火灾。对术质灰浆结构的一般住宅和规模小的建筑物，考虑其供电量小、泄漏电流小的特点、并兼顾到电击防护，可选用额定动作电流为 30mA 及其以下的漏电保护装置。

对除住宅以外的中等规模的建筑物，分支回路可选用额定动作电流为 30mA 及其以下的漏电保护装置；主干线可选用额定动作电流为 200mA 以下的漏电保护装置。

对钢筋混凝土类建筑，内装材料为术质时，可选用 200mA 以下的漏电保护装置，内装材料为不燃物时，应区别情况，可选用 200mA 到数安的漏电保护装置。

③ 防止电气设备烧毁。由于作为额定动作电流选择的上限，选择数安的电流一般不会造成电气设备的烧毁，因此，防止电气设备烧毁所考虑的主要是与防止触电事故的配合和满足电网供电可靠性问题。通常选用 100mA 到数安的漏电保护装置。

(2) 其他性能的选择。对于连接户外架空线路的电气设备，应选用冲击电压不动作型漏电保护装置。对于不允许停转的电动机，应选用漏电报警方式，而不是漏电切断方式的漏电保护装置。

对于照明线路，宜根据泄漏电流的大小和分布，采用分级保护的方式。支线上用高灵敏度的漏电保护装置干线上选用中灵敏度的漏电保护装置。

漏电保护装置的极线数应根据被保护电气设备的供电方式选择，单相 220V 电源供电的电气设备应选用二极或单极二线式漏电保护装置；三相三线 380V 电源供电的电气设备应选用三极式漏电保护装置；三相四线 220/380V 电源供电的电气设备应选用四极或三极 四线式漏电保护装置。

漏电保护装置的额定电压、额定电流、分断能力等性能指标应与线路条件相适应。漏电保护装置的类型应与供电线路、供电方式、系统接地类型和用电设备特征相适应。

2. 漏电保护装置的直的安装

(1) 需要安装漏电保护装置的场所有：带金属外壳的 I 类设备和手持式电动工具，安装在潮湿或强腐蚀等恶劣场所的电气设备，建筑施工工地的电气施工机械设备，临时性电气设备，宾馆类的客房内的插座，触电危险性较大的民用建筑物内的插座，游泳池、喷水池或浴室类场所的水中照明设备，安装在水中的供电线路和电气设备，以及医院中直接接触人体的电气医疗设备（胸腔手术室除外）等均应安装漏电保护装置。

对于公共场所的通道照明及应急照明电源，消防用电梯及确保公共场所安全的电气设备的电源，消防设备（如火灾报警装置、消防水泵、消防通道照明等）的电源，防盗报警装置用电源，以及其他不允许突然停电的场所或电气装置的电源，若在发生漏电时上述电源被立同切断，将会造成严重事故或重大经济损失。因此，在上述情况下，应装设不切断电源的漏电报警装置。

(2) 不需要安装漏电保护装置的设备或场所有：使用安全电压供电的电气设备，一般境情况下使用的具有双重绝缘或加强绝缘的电气设备，使用隔离变压器供电的电气设备，采用了不接地的局部等电位联结安全措施的场所中适用的电气设备以及其他没有间接接触电击危险场所的电气设备。

(3) 漏电保护装置的安装要求：漏电保护装置的安装应符合生产厂家产品说明书的要求，应考虑供电线路、供电方式、系统接地类型和用电设备特征等因素。漏电保护装置的额定电压、额定电流、额定分断能力、极数、环境条件以及额定漏电动作电流和分断时间、在满足被保护供电线路和设备的运行要求时，还必须满足安全要求。

安装漏电保护装置之前，应检查电气线路和电气设备的泄漏电流值和绝缘电阻值。所选用漏电保护装置的额定不动作电流应不小于电气线路和设备正常泄漏电流最大值的 2 倍。当电气线路或设备的泄漏电流大于允许值时，必须更换绝缘良好的电气线路或设备。

安装漏电保护装置不得拆除或放弃原有的安全防护措施，漏电保护装置只能作为电气安全防护系统中的附加保护措施。

漏电保护装置标有电源侧和负载侧，安装时必须加以区别，按照规定接线，不得接反。如果接反，会导致电子式漏电保护装置的脱扣线圈无法随电源切断而断电，以致长时间通电而烧毁。

安装漏电保护装置时必须严格区分中性线和保护线。使用三极四线式和四极四线式漏电保护装置时，中性线应接入漏电保护装置。经过漏电保护装置的中性线不得作为保护线、不得重复接地或连接设备外露可导电部分。

保护线不得接入漏电保护装置。

漏电保护装置安装完毕后应操作试验按钮试验3次，带负载分合3次，确认动作正常后，才能投入使用。漏电保护装置接线方式可见表 4-4。

3. 漏电保护装置的运行

(1) 漏电保护装置的运行管理。为了确保漏电保护装置的正常运行，必须加强运行管理。

① 对使用中的漏电保护装置应定期用试验按钮试验其可靠性。

② 为检验漏电保护装置使用中动作特性的变化，应定期对其动作特性（包括漏电动作电流值、漏电不动作电流值及动作时间）进行试验。

③ 运行中漏电保护器跳闸后，应认真检查其动作原因，排除故障后再合闸送电。

(2) 漏电保护装置的误动作和拒动作分析：

① 误动作。它是指线路或设备未发生预期的触电或漏电时漏电保护装置产生的动作误动作的原因主要来自两方面：一方面是由漏电保护装置本身的原因引起；另一方面是由来自线路的原因引起。

由漏即装置本身引起误动作的主要原因是质量问题。如装置在设计上存在缺陷，选用元件质量不良，装配质量差，屏蔽不良等，均会降低保护器的稳定性和平衡性，使可靠性由线路原因引起误动作的原因主要有：

a. 接线错误。例如，保护装置后方的零线与其他零线连接或接地，或保护装置的后方的相线与其他支路的同相相线连接，或将负载跨接在保护装置电源侧和负载侧等。

b. 绝缘恶化。保护器后方一相或两相对地绝缘破坏或对地绝缘不对称降低，都将产生不平衡的泄漏电流，从而引发误动作。

c. 冲击过电压。冲击过电压产生较大的不平衡冲击泄漏电流，从而导致误动作。

d. 不同步合闸。不同步合闸时，先于其他相合闸的一相可能产生足够大的泄漏电流，从而引起误动作。

e. 大型设备启动。在漏电保护装置的零序电流互感器平衡特性差时，大型设备的大启动电流作用下，零序电流互感器一次绕组的漏磁可能引发误动作。

此外，偏离使用条件，制造安装质量低劣，抗干扰性能差等都可能引起误动作的发生。

②拒动作。它是指线路或设备已发生预期的触电或漏电而漏电保护装置却不产生预期的动作。拒动作较误动作少见，然而其带来的危险不容忽视。

造成拒动作的原因主要有：

- a. 接线错误。错将保护线也接入漏电保护装置，从而导致拒动作。
- b. 动作电流选择不当。额定动作电流选择过大或整定过大，从而造成拒动作。
- c. 线路绝缘阻抗降低或线路太长。由于部分电击电流经绝缘阻抗再次流经零序电流互感器返回电源，从而导致拒动作。

此外，零序电流互感器二次线圈断线，脱扣元件粘连等各种各样的漏电保护装置内部故障、缺陷均可造成拒动作。

表 4-4 漏电保护装置接线方式

接地型式	单相(单极或双极)	三相	
		三线(三极)	四线(三极或四极)
TT			
TNC			
TN-TN-S			
TN-C-S			

注:①L1, L2, L3 为相线;N 为中性线;PE 为保护线;PEN 为中性线和保护线合一;⊕ 为单相或三相电气设备;

⊗ 为单相照明设备;RCD 为漏电保护器;≡ 为不与系统中接地点相连的单独接地装置,作保护接地用。

②单相负载或三相负载在不同的接地保护系统中的接线方式图中,左侧设备为未装有漏电保护器,中间和右侧为装用漏电保护器的接线图。

③在 TN 系统中使用漏电保护器的电气设备,其外露可导电部分的保护线可接在 PEN 线,也可以接在单独接地装置上形成局部 TT 系统,如 TN 系统接线方式图的右侧设备的接线。