

电力电缆故障的测寻

冶金工业出版社

电力电缆故障的测寻

电力电缆故障的测寻

刘 明 生 编

冶金工业出版社

内 容 提 要

本书介绍电力电缆故障的种类及产生原因,叙述电力电缆故障测寻的步骤和目前所采用的主要方法,阐述如何使用电桥法、看频感应法、跨步电压法等测寻电力电缆故障。本书所介绍的低压电力电缆故障的测寻方法,也适用于电讯电缆故障的测寻。

本书可作为电缆技术工人的培训教材,亦可供技术人员参考。

电力电缆故障的测寻

刘明生 编

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张 8 1/4 字数192千字

1985年10月第一版 1985年10月第一次印刷

印数00,001~8,000册

统一书号: 15062·4196 定价1.20元

前 言

为了适应电缆技术工人培训及现场技术人员的工作需要，笔者根据多年测寻和排除电力电缆故障的实际体会编写了本书。书中较为全面地介绍了电力电缆故障的种类及产生原因，测寻的步骤和目前所使用的主要方法；并较为详尽地叙述了电力电缆故障的烧穿、粗测、定点以及电缆敷设路径的测寻等。

本书承鞍钢副总工程师侯君实审校，在此深表感谢。

由于笔者水平有限，差错在所难免，敬请读者批评指正，不胜感谢。

编者

一九八三年元月于鞍钢

目 录

第一章 概述	1
第一节 快速测寻电力电缆故障的意义	1
第二节 高阻故障测寻方法的研究	1
第二章 电力电缆故障的产生原因及分类	2
第一节 电力电缆故障的产生原因	2
第二节 电力电缆故障的分类	3
第三章 电力电缆故障的测寻步骤	4
第一节 电力电缆故障性质的确定	4
第二节 电力电缆故障测寻的其它步骤	5
第四章 电力电缆故障点的烧穿	6
第一节 烧穿的要求及方法	6
第二节 仪器的接线及烧穿设备的选择	7
一、交流烧穿	7
二、直流烧穿	8
第五章 电力电缆故障点位置的粗测	13
第一节 电桥法	13
一、基本原理	13
二、元件参数	14
三、不同故障的测寻方法	15
四、测寻的注意事项	22
第二节 闪络测距法	23
一、基本原理	23
二、主要方法	27
三、闪测仪的使用注意事项	39
四、闪测仪的常见故障及检修方法	40
第三节 DGC-2型数字式电力电缆故障测试仪	40
一、基本测量原理	40
二、结构及简单工作过程	41
三、测寻故障的步骤	42
四、检查与使用方法	42
第四节 其它脉冲反射法	49
一、概述	49
二、HKJI-5型电缆和线路示波器	50
三、MST-1A型线路故障遥测仪	51
第六章 电力电缆敷设路径、埋设深度的探测和电缆的鉴别	52
第一节 概述	52

一、基本原理	52
二、电缆敷设路径的探测和电缆的鉴别	52
三、电缆埋设深度的探测	55
第二节 主要测寻仪器	56
一、15千赫路径仪	57
二、1千赫音频信号发生器	60
第三节 电缆路径探测的主要方法	61
一、仪器与待测电缆的连接方式	61
二、探测线圈的放置	64
三、电缆的辨识	64
第七章 电力电缆故障的精测（定点）	67
第一节 声测法	67
一、冲击放电装置	67
二、定点仪	67
第二节 音频感应法	71
一、概述	71
二、定点的基本原理	71
三、应用范围	72
四、测寻故障的方法	72
第三节 音频感应法定点所用的设备	76
一、接收机	76
二、发射机	79
第四节 低压电力电缆故障的测寻	86
一、概述	86
二、测寻方法	86
第五节 电力电缆外护层绝缘故障的测寻	86
一、粗测	86
二、定点	87
第六节 不同性质故障的测寻方法	88
一、高阻类故障的测寻方法	88
二、低阻类故障的测寻方法	88
附录1 贮存管式闪测仪的结构和电路	90
附录2 数字式闪测仪的结构、原理和线路	103
参考文献	125

第一章 概 述

第一节 快速测寻电力电缆故障的意义

随着我国四化建设的蓬勃发展,城市、工矿和国防建设的高低压线路逐步实现电缆化,电力电缆线路的增长十分迅速。因此保证电力电缆的安全运行和及时正确排除故障,迅速恢复供电是一项很重要的工作。

由于电力电缆网络结构日益复杂,以及运行时间不断增长使电缆加速老化,导致故障不断增多。因此,电力电缆故障的探测引起了各部门的重视。近些年来,在国内外电力电缆故障探测技术有了很大发展,利用闪络脉冲反射法探测高压电缆的高阻故障就是近年出现的一种新技术。

第二节 高阻故障测寻方法的研究

电力电缆产品在发展过程中,不断采用新绝缘材料,因而电缆的故障电阻也不断增高。根据统计,塑料电力电缆的故障电阻绝大部分在1兆欧以上。

随着企业管理工作的加强,绝缘的预防性试验工作普遍开展,这就导致耐压击穿性故障不断增多。对电力电缆故障的统计表明,在因为进行预防性试验而造成击穿的故障中,故障电阻大于1兆欧者,占故障数的90%以上。

由于电力电缆的高阻故障不断增多,过去使用的一些探测方法(如电桥法、音频感应法等)已不能满足需要了。因为使用以往的故障探测方法,对于高阻故障,必须经过“烧穿”才能进行探测。电缆故障点的烧穿,要花费大量的时间、电力、设备和劳动力。这在故障探测中,是花时间最多,最难进行的一步。目前,在国内外已发展为使用脉冲反射法即闪测法(利用故障点闪络进行测距的仪器,简称为闪测仪)进行故障测寻,从而使故障可不经烧穿就能直接进行粗测。这种方法的优点是:探测快、精度高、适应性强、所用仪器携带方便,并可节省大量的时间和人力。

第二章 电力电缆故障的产生原因及分类

第一节 电力电缆故障的产生原因

通过对各种类型的电力电缆故障进行剖析，可以将故障原因大致归纳为如下八种：

(1) 绝缘老化变质。导致绝缘老化的因素有如下几种：

1) 电作用：电缆绝缘介质长期处在电场作用下，而且内部总有气隙存在，从而使绝缘内部产生游离，导致绝缘大大下降；

2) 热作用：详见下面“过热”一段；

3) 晶化作用：绝缘和护层受外应力和内应力的作用，造成损伤。其主要表现为：由于震动晶化疲劳和冲击性电动力的危害，导致铅（铝）包龟裂进而受潮，造成绝缘降低；

4) 电缆的护层因腐蚀性老化而出现麻点、开裂或穿孔；

5) 水分和化学作用；当绝缘介质中发生电离时，气隙中产生臭氧、硝酸等化学生成物，腐蚀绝缘。绝缘中存在的水分，使绝缘纤维产生水解，导致绝缘大大下降。

总之，电缆绝缘长期在电作用下工作，要受到伴随电作用而来的化学、热及机械作用，从而使介质发生物理化学变化，这将使介质的绝缘下降。

(2) 过热。造成电缆过热的因素有多方面的，既有内因，又有外因。内因主要是电缆绝缘内部气隙游离造成局部过热，从而使绝缘炭化；外因是电缆过负荷产生过热。安装于电缆密集地区、电缆沟及电缆隧道等通风不良处的电缆、穿在干燥管中的电缆以及电缆的与热力管道接近的部分等，都会因本身过热而使绝缘加速损坏。

(3) 机械损伤。这类损伤主要包括下面几个方面：

1) 直接受外力作用造成的破坏。这方面的损坏主要有施工和交通运输所造成的损坏，例如，挖土、打桩、起重、搬运等都可能误伤电缆；行驶车辆的震动或冲击性负荷也会造成穿越公路或铁路以及靠近公路或铁路并与之平行敷设的电缆的铅（铝）包的裂损。

2) 敷设过程造成损坏。这方面的损坏主要是，电缆因受拉力过大或弯曲过度而导致绝缘和护层的损坏。

3) 自然力造成损坏。这方面的损坏主要包括：中间接头和终端头受自然拉力和内部绝缘胶膨胀的作用所造成的电缆护套的裂损；因电缆自然胀缩和土壤下沉所形成的过大拉力，拉断中间接头或导体以及终端头瓷套因受力而破损等。

(4) 护层的腐蚀。因受土壤内酸、碱和杂散电流的影响，埋地电缆的铅（铝）包将遭腐蚀而损坏。

(5) 绝缘受潮。中间接头或终端头在结构上不密封或安装质量不好而造成绝缘受潮；制造电缆铅（铝）时留下砂眼和裂纹等缺陷，也会使绝缘受潮。

(6) 过电压。过电压主要是指大气过电压和内过电压。对实际故障进行的分析表明，许多户外终端头的故障是由大气过电压引起的。电缆本身的缺陷也会导致在大气过电压的情况下发生故障。

(7) 材料缺陷。材料缺陷主要表现在三个方面。一是电缆制造的问题，这部分的问题

主要有：包铅（铝）留下的缺陷；在包缠绝缘过程中，纸绝缘上出现褶皱、裂损、破口和重叠间隙等缺陷；二是电缆附件制造上的缺陷，如铸铁件有砂眼，瓷件的机械强度不够，其它零件不符合规格或组装时不密封等；三是对绝缘材料的维护管理不善，造成电缆绝缘受潮、脏污和老化。

（8）设计和制作的工艺问题。中间接头和终端头的防水设计不周密，选用的材料不当，电场分布的考虑不得当，工艺要求不严密，机械强度的裕度不够等是设计的主要弊病。中间接头和终端头的制作，不按工艺规程的要求进行，会使电缆头的故障增多。

第二节 电力电缆故障的分类

电力电缆的故障分类如下：

（1）按停、送电分类，可分为运行中故障和试验击穿故障。

（2）按电缆线路故障部位分类，可分为中间接头故障、终端头故障和电缆本体故障。

（3）按试验结果分类，可以以故障点电阻的高低为依据，将故障分为高阻故障与低阻故障。所谓高阻故障与低阻故障的区分说法不一致，界限也不是绝对的。有些资料认为故障电阻在100千欧以下为低阻故障，有些资料则认为几兆欧以下为低阻故障，笔者认为前者的界限较为合适。

（4）按综合情况进行分类，可将故障分为如下几类：

1）低阻接地或短路的故障。电缆的一芯或数芯对地的绝缘电阻或芯与芯之间的绝缘电阻低于正常阻值较多，电阻值低于100千欧而芯线连接良好的，即属于此类故障。一般常见的这类故障有单相接地、两相或三相短路或接地。

2）高阻接地或短路的故障。电缆的一芯或数芯对地的绝缘电阻或芯与芯之间的绝缘电阻低于正常值较多，电阻值高于100千欧而芯线连接良好的，即属此类故障。一般常见这类故障有单相接地、两相或三相短路或接地。

3）断线故障。电缆的各芯绝缘良好，但有一芯或数芯导体断开，即属此类故障。

4）断线并接地的故障。电缆有一芯或数芯断开而且经电阻接地，即属此类故障。

5）闪络性故障及封闭性故障。这两类故障大多数是在进行预防性试验时发生的，并多出现于电缆中接头或终端头内，特别是封闭性故障多数发生在注油的电缆头内。发生这类故障时，有时在某一试验电压下绝缘被击穿，然后又恢复，有时连续击穿，有时隔数秒钟或数分钟后再击穿。这种故障称为闪络性故障。

当击穿发生后，待绝缘恢复，击穿现象便完全停止的这类故障，称为封闭性故障。

第三章 电力电缆故障的测寻步骤

第一节 电力电缆故障性质的确定

电力电缆发生故障以后，必须首先确定故障的性质，然后才能确定用什么方法去进行故障的粗测；否则，胸中无数，盲目进行测寻，不但测不出故障点，而且会拖延探测故障的时间，甚至因粗测方法不当而损坏测试仪器。

所谓确定故障的性质，就是指确定：故障电阻是高阻还是低阻；是闪络还是封闭性故障；是接地、短路、断线，还是它们的混合；是单相、两相，还是三相故障。

可以根据故障发生时出现的现象，初步判断故障的性质。例如，运行中的电缆发生故障时，若只是给了接地信号，则有可能是单相接地故障。继电保护过流继电器动作，出现跳闸现象，则此时可能发生了电缆两相或三相短路或接地故障，或者是发生了短路与接地混合故障。发生这些故障时，短路或接地电流烧断电缆将形成断线故障。但通过上述判断不能完全将故障的性质确定下来，还必须测量绝缘电阻和进行“导通试验”。

测量绝缘电阻时，使用兆欧表（1千伏以下的电缆，用1000伏的兆欧表；1千伏以上的电缆，用2500伏的兆欧表）来测量电缆线芯之间和线芯对地的绝缘电阻；进行“导通试验”时，将电缆的末端三相短接，用万能表在电缆的首端测量芯线之间的电阻。现将一故障电缆线路的测量结果列于表3-1中，供参阅。

根据表3-1所列绝缘电阻之测量结果，可以分析出此故障是两相接地；根据“导通试验”结果，可以确定三相电缆未发生断线。此故障点的状态，如图3-1所示。

表 3-1 绝缘电阻的测量与“导通试验”

用兆欧表测量绝缘电阻（兆欧）				用万能表做“导通试验”（欧）	
线 芯 间		线 芯 与 地		末 端 三 相 短 接	
AB	2500	AE	2500	AB	0
BC	8	BE	5	BC	0
CA	2500	CE	3	CA	0

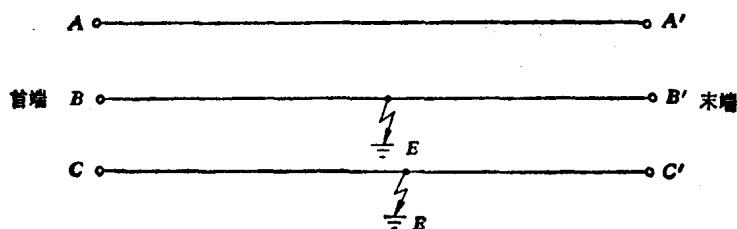


图 3-1 电缆线路故障状态图

有时为了弄清故障点的击穿电压，还要进行直流耐压试验。

第二节 电力电缆故障测寻的其它步骤

在前节已详细谈到测寻电力电缆故障的第一步，即确定故障的性质。

故障测寻的第二步为故障烧穿，即通过烧穿将高阻故障或闪络性故障变为低阻故障，以便进行粗测。

故障测寻的第三步是粗测，就是测出故障点到电缆任意一端的距离。粗测方法有多种，一般可归纳为两大类，即经典法，如电桥法等；现代法，如脉冲法等。

现代法与经典法相比，它不一定必须依赖准确的电缆资料（如电缆长度、截面、接头数及分支的位置和长度等），而且测寻简单（如不需烧穿），所以能适应生产发展的要求。

故障测寻的第四步是测寻故障电缆的敷设路径。对于埋地电缆就是找出故障电缆的敷设路径和埋设深度，以便进行精测（定点）。当然，为了绘制埋地电缆敷设路径的图纸，有时也要测寻电缆的敷设路径。测寻方法是向电缆中通入音频信号电流，然后利用接收线圈通过接收机接收此音频信号。

故障测寻的第五步是故障点的定点（精测），也就是确定故障点的精确位置。通常，采用声测、感应、测接地电位等方法进行定点。

上述五个步骤是一般的测寻步骤。实际测寻时，可根据具体情况省略一些步骤，例如，电缆敷设路径的图纸准确时可不必要再测敷设路径；对于高阻故障，可不经烧穿而直接用闪测法进行粗测；对于一些闪络性故障，不需要进行定点，可根据粗测得到的距离数据查阅资料，直接挖出粗测点处的中直接头，然后再通过细听而确定故障点；对于电缆沟或隧道内的电缆故障，可进行冲击放电，不需要使用仪器（如定点仪等）而通过直接用耳听来确定故障点。

上述五个步骤，除第一个外，其余的将在下面各章分别详细叙述。

第四章 电力电缆故障点的烧穿

第一节 烧穿的要求及方法

电缆在运行中所发生的故障,根据统计有60%以上是高阻故障,预防性试验击穿的故障有90%以上是高阻故障。然而,必须在低阻的情况下才能用电桥法或音频感应法进行测量。

使用电桥法,要求故障电阻值一般不高于2千欧,最高不超过100千欧;使用低压脉冲反射法,要求故障电阻值不大于100欧;使用音频感应法,要求电阻值不高于10欧。烧穿后故障点的电阻值,应能达到不同粗测仪器的使用要求。

烧穿的方法不外乎两大类,即:交流烧穿与直流烧穿。

采用交流烧穿法时,对于10千伏及以下的电力电缆,常用3千伏、6千伏及35千伏等几个电压等级,容量为5~10千伏安的烧穿变压器,也可以根据现场的条件选用其它合适的代用变压器。

在烧穿过程中,人们常试图利用逐步降低电压的方法来进行烧穿,但往往电压降低以后,故障点就会烧断,特别是烧穿电压降低得太快或烧穿电流增加得太快,更容易使故障点烧断。即使采用高压交流电流,故障点也往往被烧断,以致电缆故障点处需要反复击穿,这是因为烧穿的时候,故障点处形成低值炭阻通路,而故障电阻不是一个稳定值,在工频交流电的一个周期内,从上半周过渡到下半周的烧穿电流的过零点绝缘恢复,故障电阻迅速增大,所以故障点容易烧断。

交流烧穿时,需要向故障电缆提供无功电流,所以烧穿设备的容量必须足够大。

为克服交流烧穿需要庞大的烧穿设备和故障点容易烧断的缺点,可改用直流烧穿法。直流烧穿设备的容量要比交流的小一些,其原因是直流烧穿时不会出现无功电流,而且烧穿电流能全部通过故障点;另外,因直流烧穿电流不象交流电流那样有零值出现,所以不易烧断故障点。

直流烧穿应采用负极性电压。因为正极性电压或交流电压往往会使介质中的水分蒸发,起到干燥的作用,结果使故障点的绝缘电阻升高,从而降低了烧穿的速度。

直流烧穿时,若电流增加太快,也存在故障点易被烧断的问题。在烧穿过程中,故障点电阻的降低与稳定需要一个过程。如果在此过程中电流增加太快,将由于故障点面积太小,通过电流的截面不够,因热效应而导致故障通道熔断。所以,在烧穿时,电流的增加不可太快,一般以每次增加的电流为原电流的0.3~0.5倍为宜,而且应在每一个电流值上,停留一段时间,一般可停留3~5分钟。电缆头的烧穿更复杂一些,特别是注油的中间接头,即使按照上述方法进行烧穿,也要进行多次操作。

高阻故障和闪络性故障的实际烧穿过程是:电压烧穿(高压电场的作用) $\xrightarrow{\text{故障电阻下降}}$ 电压、电流烧穿 $\xrightarrow{\text{故障电阻再下降}}$ 电流烧穿(故障点拉弧)。

当故障点的电阻降到一定程度以后,再加直流高压进行烧穿便没有意义了。实际上,由于故障点电阻的降低,使得在加高压的同时,整流设备要输出一定的电流,又由于整流器(包括变压器)的内阻通常很大,不大的电流就会在内阻上产生很大的压降,因此,高压不能加到故障点上。所以,这时如果没有直流低压大电源,便可用交流低压大电流(加

220伏交流电源) 进行烧穿。

第二节 仪器的接线及烧穿设备的选择

一、交流烧穿

当电力电缆的故障电阻较高时, 应使用烧穿变压器进行升压, 给故障点加一定高压, 使其击穿。烧穿操作的接线如图4-1所示。

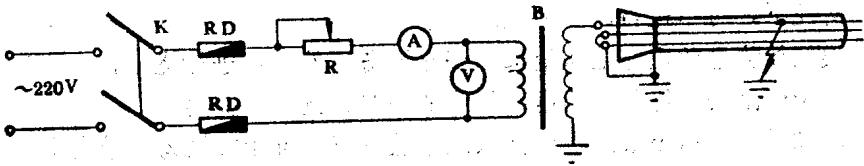


图 4-1 用烧穿变压器烧穿故障电缆

K—刀闸开关 (250伏、30安); RD—熔丝 (熔断电流应根据烧穿变压器低压侧的额定电流 I_{H2} 选择, 通常熔丝的额定电流 I_H $(0.9 \sim 1.0) I_{H2}$); R—水电阻 (通常选用容量较大的自来水槽); A—交流电流表 (常选用钳型卡表, 其量程应根据公式, 即表量程 (安) $\times (\frac{1}{2} \sim \frac{2}{3}) =$ 变压器低压侧实际输出电流 (安) 进行选择); V—交流电压表 (量程选用0~250伏); B—烧穿变压器 (可根据表4-1进行选择)

表 4-1 烧穿变压器的选择

故障电缆的直流击穿电压 (千伏)	烧穿变压器的电压等级 (千伏/伏)	烧穿变压器的容量 (千伏安)
10~40	35/220	5
10以下	2 × 3/220	5~7.5

在现场, 若无表4-1所列的变压器, 可选用其它适用的变压器。例如, 对于10千伏的油浸纸绝缘的电缆, 其直流击穿电压为40千伏, 可选用35千伏的交流电压进行烧穿; 待电缆的直流击穿电压降到10千伏时, 再改用6千伏的变压器进行烧穿。

用音频感应法探测故障点时, 在故障点电阻降到200欧以下后, 可用220伏的交流电进行烧穿, 其接线参见图4-2。

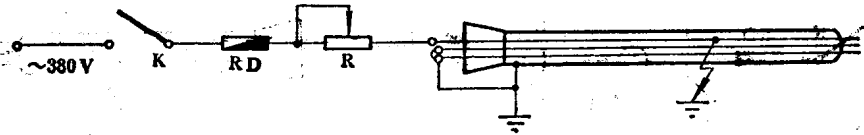


图 4-2 用220伏交流电源进行烧穿的接线图

K—单闸刀开关 (可用250伏、30安的两极闸刀开关代用); RD—熔丝; R—水电阻

图4-2所示的接线形式, 只适于在故障电阻降得较低时使用, 图中所示元件的参数同图4-1。烧穿的方法是, 将380伏的单相交流电通过水电阻限流、降压后加到故障点, 对地

进行烧穿。烧穿过程中，电流逐渐增大，要特别注意电流不能增加太快，最后的最大电流一般不得超过30安。

二、直流烧穿

(一) 直流烧穿的步骤

直流烧穿的步骤如下：

(1) 先对故障电缆进行直流耐压检测，以确定其故障点的击穿电压值。一般，对于运行中的电缆故障，需要进行此步检测；对于经直流耐压检测而被击穿的电缆，在已了解击穿电压的情况下，可不进行此步检测。

(2) 根据故障点的击穿电压值选择烧穿设备，然后，进行烧穿。

下面以10千伏油浸纸绝缘电力电缆故障的烧穿为例进行说明。

若在直流50千伏电压下故障点闪络（闪络性故障），可用容量为1千伏安、直流输出电压为60千伏的试验器进行烧穿。

若故障点的击穿电压在40千伏左右，则可用35千伏的变压器和KP-110型整流管或2DL型硅堆进行烧穿。烧穿操作的接线图如图4-3所示。

在图4-3中： K_1 、 K_2 为刀闸开关（其电流值应根据高压变压器 B_1 低压侧的额定电流选

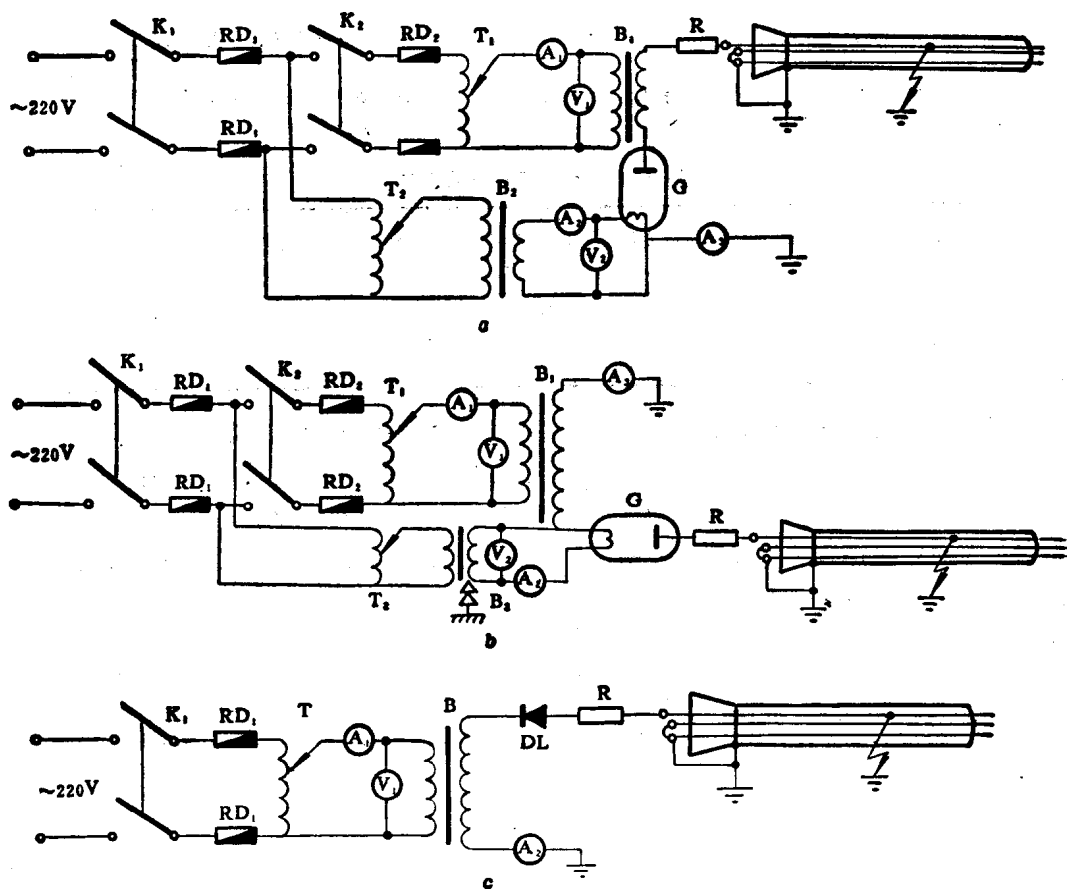


图 4-3 利用整流二极管进行烧穿的接线图

a—整流二极管在整流变压器 B_1 低压侧的直流烧穿；b—整流二极管在整流变压器 B_1 高压侧的直流烧穿；c—利用高压硅堆进行的直流烧穿

择); RD_1 、 RD_2 为熔断丝; T_1 、 T_2 为调压器 (T_1 为5千伏安、0~250伏的单相自耦调压器, T_2 为1千伏安、0~250伏的单相自耦调压器); V_1 、 V_2 为交流电压表 (V_1 量程为0~250伏, V_2 量程为10~15伏); A_1 、 A_2 —在图a与图b中为交流电流表 (可用两只钳型卡表代替, 其量程可分别根据变压器 B_1 、 B_2 的额定电流选择); 在图c中 A_2 为直流电流表 (量程为0~100毫安); A_3 为直流电流表 (其量程, 对于KP-110管, 选用0~50毫安, 对于闸流管EG1-6/15, 可选为0~5安); G 为高压整流管 (型号为KP-110或EG1-6/15); B_1 为高压变压器 (其容量为2~5千伏安, 电压为6~35千安/220伏); B_2 在图a中为低压灯丝变压器, 在图b中为高压灯丝变压器, (其参数都为0.5千伏安, 220伏/10伏); R 为保护电阻 (参数为1~10欧/伏); DL 为高压硅堆 (型号为2DL-100/0.1)。

注意: 图4-3b中的灯丝变压器处在高电位, 它与地之间和它内部高低压线圈之间均应承担高压, 以防击穿后, 高压窜到电源侧。

图4-3所示三种接线图均系半波整流。但图a、图b是用真空二极管整流 (两者灯丝变压器的位置不同); 图c则是用半导体高压硅堆进行整流的。

在使用上述这种方法烧穿时, 应明确下列几点:

第一点, 在烧穿过程中, 所用负极性半波整流电压的整流波形, 介于电阻负载和电容负载波形之间, 如图4-4Ⅳ所示。此波形究竟是接近于电容性负载的还是接近于电阻负载的波形, 与故障点电阻的高低、烧穿电流的大小以及与电缆原有电容的大小等有关。

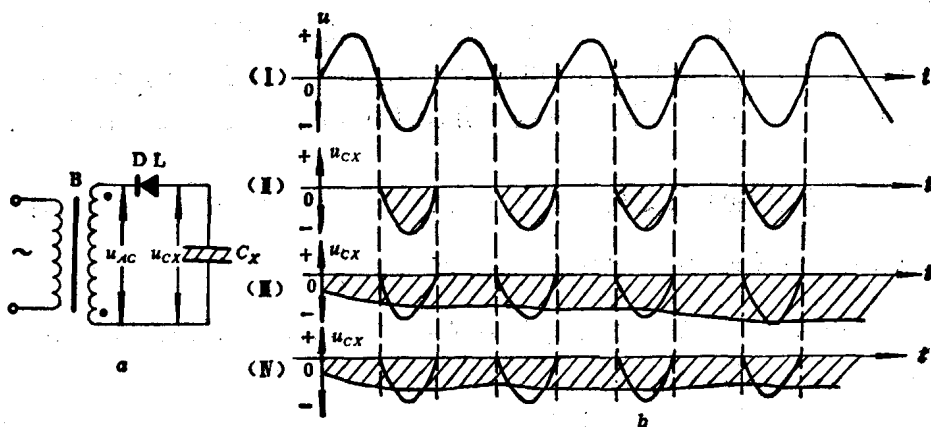


图 4-4 不同负载时半波整流波形图

a—半波整流原理接线图; b—半波整流波形图 (I—变压器B高压侧电压 u_{AC} 的波形; II—电阻负载下半波整流的输出波形; III—电容负载下半波整流的输出波形; IV—烧穿高阻故障时的半波整流输出波形)

第二点, 在烧穿时, 为了知道故障点烧穿电压的大小, 往往采取作漏泄试验的办法, 即用低压侧交流电压表来测量高压侧的整流输出电压。当负载电缆的电容足够大时, 此电容在经过充分充电以后, 其上的直流电压之平均值 u_{DC} 与变压器高压侧交流电压的有效值 u_{AC} 之间的关系为

$$u_{DC} = \sqrt{2} u_{AC}$$

上述公式对半波和全波整流都适用。

由图4-5可知 电压表 V_2 是依据下式刻度的

$$V_1 = \sqrt{2} KV,$$

式中 K ——变压器B的变压比;

V_1 ——半波整流的输出电压。

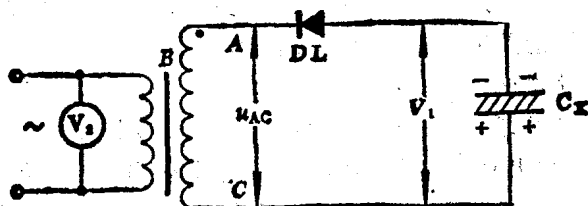


图 4-5 容性负载半波整流原理接线

对于半波整流,若负载是电阻性的,则整流电压 $u_{DC} = 0.556u_{AC}$;若负载是电容性的,则 $u_{DC} = \sqrt{2}u_{AC}$ 。实际上,烧穿电压 $u_{DC} = 0.556u_{AC} \sim \sqrt{2}u_{AC}$ 之间,即 $0.556u_{AC} \leq u_{DC} \leq \sqrt{2}u_{AC}$ 。

在图4-3中,整流变压器 B_1 的低压侧接一交流电压表,其目的不是为了准确读取高压整流电压,而是为了监视变压器低压侧的外加电压,以确保其值不超过额定工作电压值。可用静电电压表或其它方法,直接在高压侧准确测量整流电压。

第三点,根据二极管整流原理可知,在图4-5中,当二极管导通,即工频电压负半周时,被试物不断充电,直充到 $u_1 = u_{DC} = \sqrt{2}u_{AC}$;在工频电压正半周,二极管截止。此时,电容器上的电压 u_{DC} 与交流电压 u_{AC} 相串联,并一起加到二极管的两个极间,即两极间的电压为 $u_{反} = u_{DC} + u_{AC} = 2u_{DC}$,等于交流电压有效值的2.83倍,这就是二极管所承受的最大反向峰值电压。

整流管的最大反向峰值电压是使用时的一个极限数据。在半波整流电容回路内,整流管的额定直流工作电压为最大反峰电压的一半,即 $u_{DC} = \frac{1}{2}u_{反}$ 。所以,2DL-100/0.1型的硅堆,最高输出电压 u_{DCmax} 只能为50千伏;KP-110型的真空二极管,其最高输出电压 u_{DCmax} 只能为55千伏。

第四点,使用整流二极管进行烧穿时,必须注意下列事项:

- 1) 应按管子的规定值,施加灯丝电压;
- 2) 二极管的输出电流不允许超过管子的额定工作电流;
- 3) 通常,在半波整流电容回路中,直流工作电压不允许超过二极管反向峰值电压的一半,这一点适用于烧穿时管子工作电压的选用。

(3) 有时故障电阻较高,但没有可提供所需烧穿电压的烧穿变压器和整流管。在这种情况下必须采用“倍压整流”的方法来满足要求。所谓“倍压整流”就是用两个整流管在不增加交流电压的情况下,将直流输出电压提高一倍。其接线图如图4-6所示。

在图4-6a中,当变压器B高压侧C点为正时,整流管 G_2 导通,使电容 C_2 充电,充电电压为交流电压有效值的1.41倍。当变压器B上的电压变成A点为正时, G_2 截止, G_1 开始导通,电容 C_1 也充电到 $u_{DC} = 1.41u_{AC}$,在电容 C_1 和 C_2 都充电之后,D、E两点间的电压为两个电容上的电压之和,即 $u_{DE} = 2u_{DC} = 2.83u_{AC}$,这是倍压整流的一种形式。

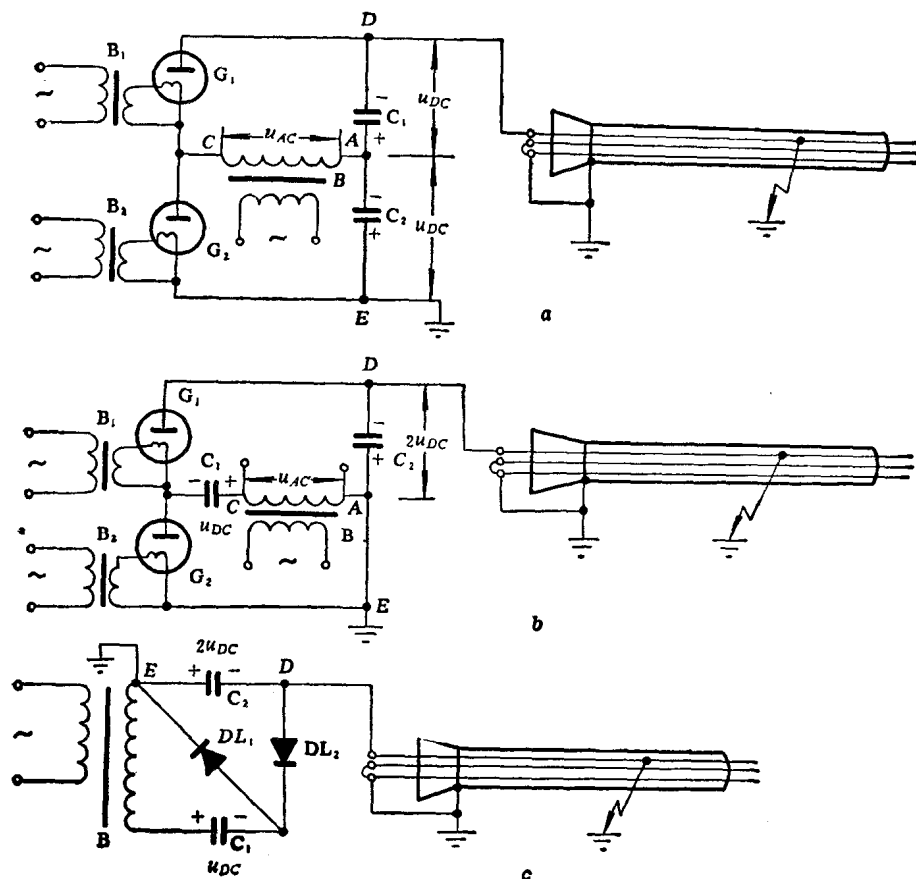


图 4-6 倍压整流烧穿接线图

a、b—利用真空二极管进行倍压烧穿；c—利用高压硅堆进行倍压烧穿

B—高压整流变压器，根据 $u_{DE} = 2\sqrt{2}u_{AC}$ 来选变压器的电压等级；B₁、B₂—为整流二极管用的灯丝变压器；C₁、C₂—高压电容器，可选用10千伏、0.1~1.0微法的移相电容器；G₁、G₂—整流真空二极管；DL₁、DL₂—高压整流硅堆

图4-6b中，当整流变压器B的C点电压为正时，G₂开始导通，电容C₁充电到 $u_{DC} = \sqrt{2}u_{AC}$ 。当变压器B的A点的电压变为正时，G₂截止，G₁开始导通，并对C₂充电。此时，C₂上的电压为电容C₁上的电压加变压器的电压。因为这时B的极性和C₁的极性是相同的，所以C₂上的电压将充到 u_{DC} 的两倍，即 $u_{DE} = 2u_{DC}$ ，这是倍压整流的另一种形式。

图4-6c中，是利用高压硅堆进行倍压整流的，其整流原理与图4-6b相同。

(4) 若击穿电压已降为10千伏（直流电压）以下，可用闸流管ZGI-6/15来烧穿。其理由是，此闸流管能输出较大的直流电流（2安以上）。烧穿变压器的参数可选用电压为 2×3 千伏/200伏，容量为5~7.5千伏安。变压器的接线同图4-3a所示。

从实践可以看出，故障点的烧穿，电流达到2安以上时，故障电阻已小于10欧。

(二) 常用仪器和仪表

常用仪器与仪表列于表4-2中。

常用高压整流管的技术参数，见表4-3。