



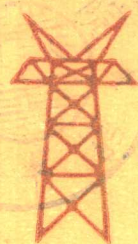
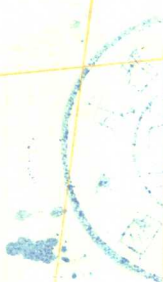
521784

50011
6612

5E

强电线对通信线的影响

严晋德 编著



人民邮电出版社



强电线对通信线的影响

严晋德 编著

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书汇编了作者的四篇文章。其中有三篇文章分别就三种类型的强电线路（中性点接地、两线一地、电气铁路接触网）对通信线的影响及其防护措施，作了简要的介绍；在另一篇文章中专门对架空地线（防止强电影响的有效措施）防护效果及其计算公式作了探讨，是作者过去在学术报告会上的报告提纲。这四篇文章着重讨论了强电线对通信线影响的几个重要技术问题，对从事这方面工作的工程技术人员有一定的参考价值。

强电线对通信线的影响

严晋德 编著

人民邮电出版社出版

北京东长安街 27 号

北京邮票厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本：787×1092 $\frac{1}{32}$ 1978年9月第一版
印张：2 $\frac{26}{32}$ 页数：45 1978年9月北京第一次印刷
字数：53 千字 印数：1—15,500册

统一书号：15045·总2245-有5102

定价：0.25 元

前 言

随着我国社会主义建设的迅速前进，高压输电线和通信线都有了很大的发展，研究输电线对通信线的影响及其防护措施，已成为当前的一个重要课题。本书讨论了有关这方面的四个比较重要的技术问题：第一，是高压输电线中性点接地方式及其对通信线的影响问题。随着高压输电系统的容量愈来愈大和输电线长度的日益增长，这个问题日益显示其重要性，已经成为关系电力、通信部门互相协调、共同发展的重要技术政策问题。本书对这一个问题，从技术上经济上作了初步探讨。第二，是两线一地制输电方式对通信线路的影响问题。这个问题，近年来很为从事电力、通信工作的一些同志所关心，本书从技术上提供了一些材料，供读者参考。第三，是交流电气化铁路对通信线路的影响及其防护措施问题。由于交流电气化铁路在我国的发展，许多同志对这一问题都很关心，作者根据工程经验提供了一些资料，供读者参考。第四，是在杆路上架设良导体架空地线以降低输电线对通信线的影响问题的探讨。架空地线是目前采取的防止电力线对通信线影响的主要防护措施之一，本书提出了作者推导得出的良导体架空地线对通信线实际屏蔽系数的计算公式，供读者在工程中应用。

鉴于强电线对通信线影响的技术资料，在生产建设上很需要，作为抛砖引玉，现将过去发表过的四篇文章经过修改补充后汇编成小册子出版，请读者多批评指正。

作者

1977 年 12 月

目 录

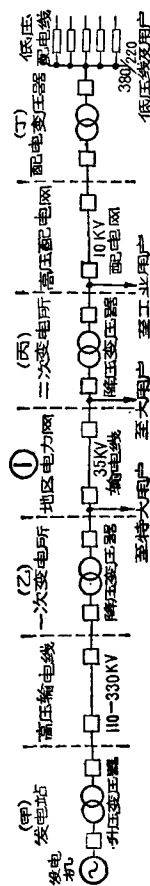
一、高压输电系统中性点接地方式及其对通信线路的影响.....	1
二、两线一地制输电方式对通信线路的影响.....	13
三、交流电气化铁路对通信线路的影响和防护措施.....	27
四、架空地线实际屏蔽系数的计算公式及应用.....	56

高压输电系统中性点接地方式 及其对通信线路的影响

随着电力、电信建设的发展，电力线路对通信线路的磁场和电场的感应影响问题，愈来愈受到人们重视。高压输电系统采用不同的中性点接地方式对通信影响的程度相差很大。因之选择中性点接地方式是一个关系电力、通信相互协调共同发展的重要技术政策问题。现在就高压输电系统中性点接地方式及其对通信的影响，提一些个人看法，供同志们参考。

一、电力网的构成

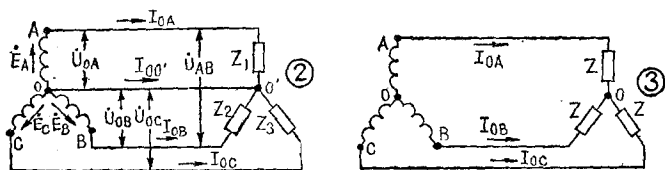
图①表示一个比较典型的电力网。由水电站或火电站的发电机（甲）发出的电力，经过升压变压器将电压提高到110千伏至330千伏，送到数十公里甚至数百公里以外的一次变电所（乙）；从（乙）经过降压变压器将电压降至35或60千伏，供给大的工业用户和地区电力网；在地区电力网内又建有二次变电所（丙），从（丙）将电压降低至10千伏，供给农村高压配电网和中等工业用户以及城市配电网的用电。在高压配电网上的适当地点，安装有配电变压器（丁），把电压降低到380伏或220伏，直接



给一般用户使用。

目前所有的电力网，几乎都是三相制。若将发电机三个线圈用星形连接法向负载供电，三个线圈的一端均连接在 O 点，则 O 点称为三相电源的中性点。同样用星形接法把三个负载的一端接电源，另一端连接在 O' 点，则 O' 点就是三相负载的中性点。 O 与 O' 的连接线称为中性线。这种供电方式称为三相四线制，如图②所示。若三相所用的负载相等，则中线 OO' 上无电流，中性线即可省去不用，成为三相三线制如图③所示。

从图②和图③可以看出，把中性点和大地连接起来，对于



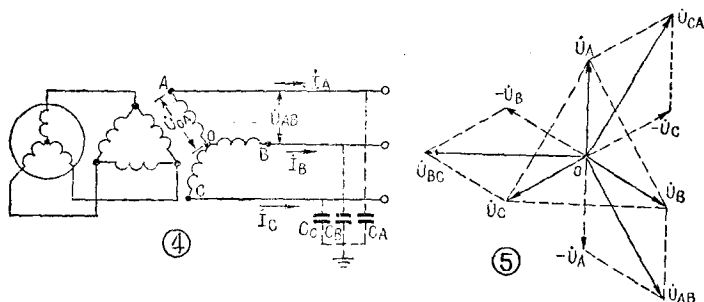
电力传输并无作用。所以从电力发展史来看，早期的电力网绝大多数都采用中性点不接地方式。下面我们就先谈谈中性点不接地的高压输电系统。

二、中性点不接地的高压输电系统

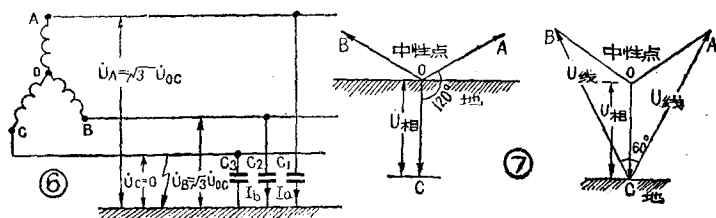
中性点不接地方式一般用于 3~60 千伏的输电线路，所以是数量最多，也是最常见的输电线路，其等效电路如图④所示。当中性点不接地的输电线路经过完善的交换线位后，在正常运行时，三相的电压和电流是平衡的，因此三相电压和电流的矢量和为零。只要通信线路和它保持百米左右的隔距，所受到的

感应影响很小。

平衡的中性点不接地三相输电线各相电压与线电压的矢量关系如图⑤所示。



当中性点不接地系统发生单相接地故障时，假设是 C 相接地，则 C 相的对地电压降为零，而 A 和 B 两相的对地电压升高至线电压，我们知道相电压之间的相角差是 120° ，而线电压之间的相角差是 60° ，因此它们之间的相位也不再是 120° ，而是相差 60° 了。图⑥是中性点不接地系统发生单相接地故障的情形；图⑦是中性点不接地系统在正常运行时和单相接地情形下的电压矢量图。



况下的电压矢量图。从电工学我们知道 $U_{\text{线}} = \sqrt{3} U_{\text{相}}$ 。这时三相电压之和不是零，而是相角差为 60° 的两个线电压的矢量

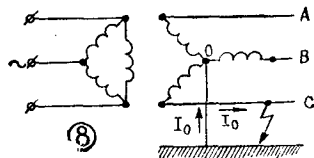
和，因此对通信线带来较大的静电感应影响。由静电感应影响在通信线上所产生的电压与两线路之间隔距的平方成反比。随着隔距的加大，静电感应电压降低很快，所以对于相互平行接近的电力线路和通信线路，为了降低对通信线路的静电感应影响，尽可能加大一点隔距，是最有效的防护措施。

当中性点不接地输电线路发生一相接地故障时，接地电流是电容电流，一般小于三相同时接地故障电流的百分之一，对通信线的磁场感应影响较小，所以在有关规定中未予考虑。至于两相不同地点的同时接地故障，因机会率很小，只对长途通信电缆考虑此项影响。

中性点不接地方式不宜用于电压较高、路由太长的输电线路。因为长距离高压输电线的线间电容和线、地之间的电容很大，当发生瞬间单相接地故障时，将在故障点有很大的电容电流，并产生电弧。由于电容电流很大，所以电弧难以自动熄灭；同时由于电弧而在输电线上引起的过电压，也将威胁电力设备的绝缘，如果输电系统中有绝缘的薄弱环节，就会引起严重的后果。由于以上原因，于是开始采用中性点直接接地方式。

三、中性点直接接地的高压输电系统

中性点直接接地系统的变压器的中性点是直接和大地连接的。中性点直接接地电力系统发生单相接地时的电路如图⑧所示。



当发生单相接地故障时，短路电流 I_0 的强大磁场，在与其平行的通信线路上诱生的感应纵向电动势，有可能威胁通信人员和设备的安全；并有可能使铁路

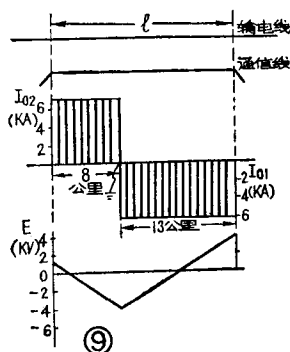
信号误动作造成撞车事故等。

举一个例子，设 110 千伏中性点直接接地输电线路与通信线路的平行接近长度 l 为 21 公里，两线路间的平均隔距为 450 米，所在地区的 50 赫大地导电率 $\sigma = 3 \times 10^{-14}$ cgs m (绝对电磁单位) 若短路点距平行接近段末端各为 $l_1 = 8$ 公里、 $l_2 = 13$ 公里，如图⑨所示。短路电流 $I_{01} = 6000$ 安， $I_{02} = 6800$ 安，由 ωM 计算图表查得 $\omega M = 100 \times 10^{-3}$ 欧/公里，则通信线上的感应纵电动势 $E_1 = \omega M I_{01} l_1 = 100 \times 10^{-3} \times 6000 \times 13 = 7800$ 伏。 $E_2 = 100 \times 10^{-3} (\text{欧/公里}) \times 6800 (\text{安}) \times 8 (\text{公里}) = 5440$ 伏。这样高的感应电压，对通信人员和通信设备显然是非常危险的。

中性点直接接地输电线路在正常运行时，对通信线还有磁干扰影响，三次倍数的谐波是主要的杂音来源。而在中性点不接地和中性点经消弧线圈接地的电力系统，则不产生三次倍数的谐波干扰。

中性点直接接地方式使每次单相接地故障都变成短路，不

得不予以切除。虽然应用了自动重合闸，但是供电可靠性仍不是很好。为了保证供电可靠性，不得不建设双回路或双方向的供电线路。这样就要增加基建投资。同时，中性点直接接地系统的故障短路电流很大，所以除可能威胁故障点附近人畜的生命安全外，还可能引起电力设备的破坏，例如大接地电流通过发电机内部的故障点时，即使时间很短，也能严重烧坏绝缘与铁心；又如它会造成架空线路绝缘子串的损坏，电力电缆外皮



的爆裂或变形和伤害介质绝缘等等。此外，由于断路器经常跳闸和合闸，负担很重，因而加重了维护检修工作量；又由于短路电流很大，电压的剧烈下降，有可能引起电力系统动态稳定的破坏，使电源间失去同期。为了解决这些问题，于是就采用了中性点经消弧线圈接地方式。

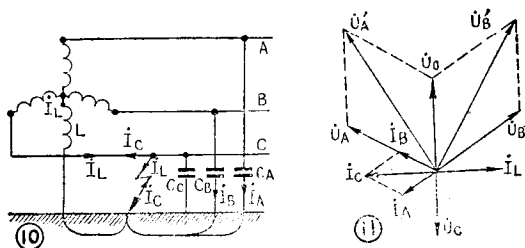
四、中性点经消弧线圈接地的高压输电系统

消弧线圈实际上是一只铁心的电感线圈，通常装在电网中的各枢纽变电所内，有时也装在发电厂中。消弧线圈的一端经高压套管接至变压器的中性点，另一端经低压套管与大地相连。铁心与线圈都浸在变压器油中。消弧线圈中的电感性补偿电流是可以调整的。调整的办法是在线圈中抽取多个分接头。当选接不同的分接头时，就改变了线圈的总匝数，这样补偿电流的数值就不相同了。

现在介绍一下消弧线圈的消弧原理：

图⑩示中性点经消弧线圈接地的高压输电系统当C相发生接地故障的情况。该相导线的对地电压降为零，而A相和B相的对地电压将升高到线电压，如图⑪中的矢量 $\dot{U}'_A$ 和 $\dot{U}'_B$ 。

设 $C_A = C_B = C_C$ ，流过 C_A 及 C_B 的电流 $\dot{I}_A$ 和 $\dot{I}_B$ 各较



$\dot{U}'_A$ 和 $\dot{U}'_B$ 超前 90° ，其绝对值均为：

$$|\dot{I}_A| = |\dot{I}_B| = \omega C_A U_{\text{线}} = \sqrt{3} \omega C_A U_{\text{相}} \quad (1)$$

因 $\dot{U}'_A$ 与 $\dot{U}'_B$ 之间的夹角为 60° ，故 $\dot{I}_A$ 与 $\dot{I}_B$ 之间的夹角亦为 60° ， $\dot{I}_A$ 与 $\dot{I}_B$ 都是经接地点成回路的，所以流过接地点的电流 $\dot{I}_C$ 等于 $\dot{I}_A$ 和 $\dot{I}_B$ 的矢量和， $\dot{I}_C$ 的幅值为：

$$|\dot{I}_C| = \sqrt{3} |\dot{I}_A| = 3 \omega C_A U_{\text{相}} \quad (2)$$

$\dot{I}_C$ 的相位较此时中性点的电压 $\dot{U}_0$ 超前 90° 。

在系统正常运行时，变压器中性点的电位为零，消弧线圈 L 中无电流，而在 C 相接地时，中性点的电位 $\dot{U}_0 = -\dot{U}_C$ ，而流经消弧线圈 L 的电流 $\dot{I}_L$ 将滞后于 $\dot{U}_0$ 为 90° ，且其幅值为：

$$|\dot{I}_L| = \frac{\dot{U}_{\text{相}}}{\omega L} \quad (3)$$

若选择 L 之值，令：

$$|\dot{I}_L| = |\dot{I}_C| \quad (4)$$

则两者相互抵消，而流经接地点的电流变为零，电弧即行熄灭。

$$\text{将(2)和(3)代入(4)得：} L = \frac{1}{3 \omega^2 C_A} \quad (5)$$

实际上运用消弧线圈时并不允许将 L 调谐到完全补偿，一般是取 L 比调谐值大一些，称为过补偿。

中性点经消弧线圈接地的电力系统在发生单相接地事故时，不但没有大的接地短路电流，连接地电容电流也被消弧线圈补偿掉，所以对通信线路不产生磁场危险感应影响。

中性点经消弧线圈接地的高压输电系统发生两相接地短路的机会率，要比中性点不接地系统小得很多。这是因为在两相接地短路故障中相当大的部分是由单相接地故障发展而成，消

弧线圈能迅速消除为数最多的单相接地故障，从而也就更减少了两相接地故障的机会率。因此对明线通信线路，可以不考虑中性点经消弧线圈接地系统的两相接地故障的危险影响。至于中性点经消弧线圈接地的输电线路发生单相接地时对通信线路的静电感应影响，其计算方法则与中性点不接地输电线路相同。

我们知道，电力线路三次谐波的主要来源于发电机和变压器磁化特性的非线性，如果中性点是接地的，三次谐波电压会在电源端子上出现。在中性点直接接地系统里循环着的三次谐波电流，对通信线会引起杂音干扰。如果中性点经消弧线圈接地或者不接地，那么对三次谐波来说，电源端子则经过系统电容和地相连，而三次谐波的电容效应是不大的。

此外，中性点经消弧线圈接地的输电线路在与通信线发生碰线时，事故的严重性也比中性点直接接地线路大大减轻。因为，此时故障相经通信线的电容接地，而消弧线圈系统对于电容不对称是很灵敏的，因而故障相的电压立即下降，电力线经通信线入地的电流很小，大大减轻了事故的严重性。万一所余电压仍能引起对地火花放电，也会因为消弧线圈的消弧作用，使通信线上的事故减轻。

中性点经消弧线圈接地方式可以应用于 220 千伏及以下各级电压系统。

从以上讨论，可以看出：电力系统采用中性点经消弧线圈接地方式是出于保证电力系统正常运行的需要和降低对通信危害影响的需要。它解决了中性点不接地方式在线路过长时电容电流过大的缺点，并加强了供电的可靠性。同时，它又避免了在中性点直接接地方式时大短路电流带来的问题，并大大降低了对通信的危害影响。

五、对 110 千伏及更高电压电力系统中 性点接地方式的探讨

个人认为 220 千伏以上的高压输电系统应采用中性点直接接地方式，60 千伏及以下的电力系统则应采用中性点经消弧线圈接地或中性点不接地方式。至于 110~220 千伏高压输电系统的中性点接地方式（尤其是在大地电阻率较高和多雷的地区），则可从对通信线路影响和电力系统本身两方面来考虑。

第一，从对通信线路的影响来看，以中性点直接接地方式最为不利。中性点直接接地的输电线路，由于雷击、鸟害等因素，免不了要出现接地故障，而且大部分是单相接地故障。当中性点直接接地的输电线路发生单相接地故障时，如果短路电流的磁场在电信和铁路信号线路上诱生的感应电压超过规定值，对通信线路就会产生危险影响。所谓危险影响是指通信线路遭受输电线路感应而产生的电压和电流足以危害人员的生命安全，损坏线路、设备和仪器，引起房屋火灾以及引起铁路信号的误动作等影响。所在地区大地电阻率愈高，两线路间的隔距愈近和平行长度愈长，通信线上的感应电压也愈易达到危险的程度。为了防止中性点直接接地输电系统对通信的危害影响，如果采取将通信线路迂回绕道或在通信线路上安装保护设备的办法，则既花费投资又降低了通信质量和增加维护工作量。而电力系统有时仍然要采取措施来降低短路电流，以及采用将钢质架空避雷线改为钢心铝绞线来进行屏蔽等措施，也要增加基建投资。此外，在山地和峡谷走廊地带，大地电阻率较高，通信线路上的感应电压很高，一条中性点直接接地的输电线路可能同时对数条通信线路有危险影响，为了解决对各通信线路的危

险影响，电力和各通信部门所费的投资，可能超过采用中性点直接接地方式所节约的基建费用。

中性点采用经消弧线圈接地方式就可以不考虑对通信线路的单相接地磁场感应影响。基本消除对通信线路的三次倍数谐波干扰，减轻输电线路与通信线路碰线时事故的严重性。

因此，从降低对通信危害影响来说，110~220 千伏高压输电系统宜采用中性点经消弧线圈接地方式。

第二，从电力系统本身来看，110~220 千伏输电线对国民经济很重要，停电事故要求愈少愈好，从供电可靠性这个重要指标来考虑，也以采用中性点经消弧线圈接地方式为宜。同时，110~220 千伏高压输电系统采用中性点经消弧线圈接地方式可以不需要建设双回路电源，实际上是节约了基建投资。

和中性点直接接地方式相比较，中性点经消弧线圈接地方式保护了人员和电力设备。消弧线圈自动消除了接地故障，故障点的电位梯度大大减低，保护了附近的人员和牲畜。不仅变电站内的人员和设备得到消弧线圈的保护，也防止了烧坏导线和线路绝缘子的破裂等；并减少了开关检修、绝缘子更换、故障后巡线等维修工作量。

从高压输电系统的动态稳定来看，中性点直接接地系统将接地故障转变为短路来加以清除的方法，可能破坏电力系统的动态稳定，造成电源间失去同期。而中性点经消弧线圈接地的电力系统可以完全保持动态稳定，避免了因高压输电系统稳定问题所引起的困难。

从电力系统绝缘水平来看，我们知道线路绝缘水平是不随中性点接地方式而变的，因为 220 千伏高压输电系统采用中性点直接接地方式后，变压器可以采用分级绝缘得到降低造价的好处，开关设备的绝缘水平也有所降低。但 110~150 千伏高

压输电系统采用中性点直接接地方式所降低的造价很有限，而在线路上由于雷害事故增加，使整个国民经济引起的损失比这一数字大得多。

因此，在大地电阻率较高和多雷地区 110~220 千伏高压输电系统中性点采用经消弧线圈接地方式有其优点。

有人认为中性点经消弧线圈接地方式不适用于大容量电网，不利于系统的发展。实际上并非如此，电压在 150 千伏及以下时，到目前为止，消弧线圈接地方式并未受到系统规模和电压的限制。

电压为 220 千伏的消弧线圈系统，瑞典、日本等国均有成功的运行经验。据西德经验，220 千伏系统最大容许残余故障电流为 150 安，当线路总长度在 2400 公里以内时，运行经验是完全成功的。也就是保证在坏天气条件下，当全系统线路处于雾中，或系统内一半长度的线路处于雨和雾中，由电晕所引起的残余电流仍在容许范围以内。

六、小 结

兹将这三种中性点接地方式的特点列于附表，以便对照比较。

从以上的分析和比较，可见在雷电活动较多，大地电阻率一般较高的具体条件下，中性点经消弧线圈接地方式应用于 220 千伏及以下的高压输电系统有其优点。特别值得提出的是：首先，采用中性点经消弧线圈接地方式，可以减少输电线路的雷害跳闸率，避免造成停电损失；可不建设双回路电源，节约了基建投资，同时又保证了供电可靠性。其次由于大地电阻率一般较高，以致中性点直接接地输电线路与平行的通信线路

之间的互感阻抗较大, 接地短路电流的磁场在通信线路上诱生的感应电压很高。而采取高压输电系统中性点经消弧线圈接地则是解决对通信影响的有效办法。

中性点 接地方式 比较项目		不 接 地 (中性点绝缘)	经 消 弧 线 圈 接 地	直 接 接 地
单相接地故障电流		对地电容电流, 一般小于三相短路电流的百分之	被中和抵消	很大
供电可靠性		较好	很好	不能保证
发生单相接地对电力设备的损害		可能相当严重	被免除	可能很严重
对电信 信号 线路的 影响	正常运行时的 感应影响	由于中性点位移将产生静电感应	最小	需考虑变压器的三次倍数谐波与电量的干扰
	单相接地时的 电磁感应影响	小	不考虑	最大
对电网布置的要求		最好有双回路电源	单回路电源已足够, 不需要建设双回路	宜有双回路电源
接近故障点对生命的危险		常常是持续性的	可忽略	严重
接地故障时的系统稳定		无问题	令人很满意	需要采取特殊措施
直接大气过电压		无	差	别
内部 过电 压	一相接地时, 其它两相的50赫电压升高	等于或略大于线电压	等于线电压	小于80%的线电压
	电弧接地过电压	可能很高	不予考虑	不予考虑
	操作过电压	最高	可控制	最低
断路器负载		经常动作, 检修周期较短	不经常动作	经常动作, 检修周期短
变压器采用分级绝缘的可能性		不能采用	如中性点对冲击波有保护措施, 即可适当采用分级绝缘。	如果控制了冲击电压的分布, 即可采用分级绝缘
电力线避雷器的工作条件		需用100~105%避雷器	需用100%避雷器	最好, 可用80%避雷器
和采用其它中性点接地方式电网的连接		可以和中性点直接接地电网互连, 但将失去原有的特性	要经过隔离变压器来连接	互联后的电网要重新归类, 继电保护可能要作改变