

249663 藏

預防雷害

广州铁路局科学技术研究所編



67

人民鐵道出版社

这本小册子詳細地介紹了預防雷害的措施和它的基本原理。它是广州局电务处楊承孝同志参照苏联有关电务部門預防雷害的先进方法，結合他在实际工作中的經驗写成的。

它可供铁路电信通信工学习参考。

預 防 雷 害

广州铁路局科学技术研究所編

人民铁道出版社出版

(北京市霞公府17号)

北京市書刊出版业营业許可証出字第 010 号

新 华 书 店 发 行

人民铁道出版社印刷厂印

書号 1432 开本 787×1092 毫米 印張 1 $\frac{1}{4}$ 字数 26 千

1959年6月第1版

1959年6月第1版第1次印刷

印数 0001—1,500 册

統一書号: 15043·989 定价 (7) 0.10 元

前 言

雷电对于人身安全及建筑物,特别是电信、电力设备,常造成很大的威胁,差不多在人类开始揭开电的秘密的同时,就开始和雷电作斗争,到今天,我们虽已掌握了一系列的办法来防止雷电的危害,但有时由于运用方法的不正确,以致雷害事件,仍不能完全避免,造成生命财产以及工作上的损失,因此对于各项防雷措施的基本原理,加以较深入的研讨,使能获得正确的运用而达到应有的效果,仍应认为是十分必要的,广州局电务处主任工程师楊承孝同志,参考苏联有关电务部門預防雷害的先进方法,結合自局电务試驗車实际工作中所积累的經驗,写成这本书,提供广大职工作为共同研究电信设备的防雷措施的資料,为使这一工作得到进一步发展。

目 录

雷电的性质及对电信设备的危害.....	1
防雷的措施.....	4
怎样有效地发挥防雷措施的作用.....	17

雷电的性质及对电信设备的危害

1. 带电的云：

无论甚么时候，当含有大量水蒸气的热空气急速上升，如果上层空气温度很低时，就必定要形成大块带电的云。根据历年学者实验及研究结果，云有如绝缘体，其电荷是分布于整个体积的。在布满天空的云中，正电荷和负电荷的实际分布情况是很复杂的。关于云块为什么会带电以及云块中电荷分布的规律，迄今还无一个圆满的解

2. 直击雷的威胁：

云既然带了大量的正电荷或负电荷，于云与云间及云与大地间形成一个复杂的强力电场。在普通空气柱力下的空气，当电场强度为 30,000 伏/公分时，空气分子即开始电离。如空气中含有水滴，则 10,000 伏/公分的电场强度即可开始电离。因此当电场强度达到一定限度时，云与云间或云与大地间即因空气电离而放电，也就是形成了闪电。云与大地间的放电叫直击雷，普通又叫落地雷。直击雷对人的损害和威胁最大，地球表面每昼夜约共发生 44,000 次闪电，其中约十分之一为直击雷。

闪电的长度各有不同，由 150 公尺长到几公里长都有发现。由闪电路径的长度及地面的电场计算出来，显示云层与地面间的电压在数万伏至数十万万伏之谱。一次放电持续的时间是很短的，一般约为 5 微秒至 500 微秒（百万分之五至万分之五秒），平均为 40 微秒（十万分之四秒）；不过我们通常所见的闪电，持续的时间平均约千分之一秒，因为它实际是包括循同一路径一连串的放电，放电次数最多可达 40

余次，相隔的时间在十分之一秒至十万分之一秒之间。在一串放电所放出的电荷平均约20~50库伦，因此闪电电流平均约2万至5万安培，但在个别情况，闪电电流最大可达数十万安培。一次雷击，穿过10公尺高的大树所产生的热量，足以使所含水份完全蒸发而把树干烧焦，可见雷电威力的一般。

根据观测及实验，带正电荷的云所产生的直击雷，是自上向下分步跃进，并且分支的。因此击中电信线路设备的可能性较大，但能量是较小的；然而带负电荷的云所产生的直击雷，它是在一定地点急剧的不断的逕冲云霄，并不分支，虽然击中机会较少，但破坏能力却特别大，所有较严重的灾害，都是由带负电的云所引起的。

3. 直击雷对电信设备的危害：

电信线路跨山越野，高出地面之上，且本身由导体构成，因此极易受雷电的侵袭，雷可能直接击中导线或电杆，造成直接的损害：

(1) 雷直接击中导线

雷直接击中导线时，导线即时烧断，并且在导线中造成电的涌浪，向两端传散。电信线路上由于直击雷所产生的电浪，电压最高可达100千伏，超过10千伏的约占半数。电浪形状如图1，波头部份约在2~10微秒内，电压升至最大值，在40~160微秒内又下降至零，因此波头部份是很陡峭的。电信线路上的雷击电流纪录最高达400安培左右，普通以100安培以下者为多。雷击电浪由于频率高、振幅高、波

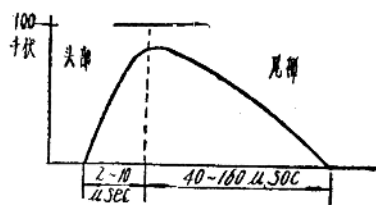


图 1

头坡度陡的关系，在进行当中，电量损失、导体电阻损失及漏洩损失是很大的，也就是說衰减非常快，如果磁瓶有破损处所或磁瓶表面存留过多污垢时，电浪經過磁瓶时，則将发生閃络放电或甚至将磁瓶击穿。如果同杆路还有未断的导綫，則此等导綫也将因感应而产生电涌浪，这电浪反轉来有抑制被击中导綫上的电浪的作用，因此由于击中导綫而产生的电浪，一般进行不过数十档甚至数档便消失。

(2) 雷直接击中电杆：

当雷直接击中电杆时，如果电杆上有地綫并且装置得很好的話，雷經地綫很順利的放电入地，这样是沒有多大損害的，但如电杆沒有装地綫，情况就不同了，根据試驗，木杆所能承受的閃击电压为每公尺300~900千伏，普通7公尺长的电杆，約可承受2100~6300千伏，而雷电电压强度是远远超过此数值的，当放电电流通过电杆时，杆中水份一时化汽可把杆身炸开。

如直击雷通过磁瓶时，磁瓶就要被打成碎片了。

4. 感应雷对电信设备的危害：

雷不必直接击中电信设备，只要是在电綫路近旁有雷云放电发生，那末导綫內就会因感应而产生高压电浪。当电綫路上方有云且假定云下方为負电荷时，导綫正对云部份即因靜电感应而聚积着正电荷，因导綫长度常超过云的长度甚多，故导綫上的負电荷即向两侧分散，且漸次經絕緣較差处所洩漏入地，于是导綫上仅剩正电荷了，如云因与近旁带导性电荷的云放电而迅速失掉其电荷时，則导綫上的电荷也迅速向两端散开形成电的涌浪。根据測量結果，由于云放电在导綫上的感应电压一般不超过60千伏。

感应雷的威力比直击雷小，但是感应电压的波尾可能达到几百微秒，因此綫路上因感应雷放电时，室内保安器一般

都会发生动作，倘保安器不良，机器和人身便容易遭到损害，綫路上感受到最多的就是这种雷害。

防 雷 的 措 施

避雷地綫、保安器和架空地綫差不多是全世界在电力及电信方面所一致采用的防雷措施，苏联則增加了排流綫圈和扼流綫圈的采用，对于这些防雷設備及其組成部份的性能作一个較深入的分析，对于正确發揮它們的作用，以达到預防雷害的目的，是有决定性的意义的。

1. 避雷地綫：

(1) 避雷針：

避雷針有如下的作用：

- 1) 收受直接雷击的静电；
- 2) 使环绕建筑的雷击电流安全导去，建筑物得以保护；
- 3) 使雷击放电电流以及任何其他感应而生的危險电流安全而充分的导入地下。

根据这个說法，避雷針的作用在于引导閃电，供給它一条容易走的路徑，使它不要危害建筑物或其他設備。

(2) 避雷地綫的保护范围：

避雷針的保护范围究竟有多大呢？經苏联实际試驗証明，保护范围与避雷針的高度、地位形势、地质优劣等都有关系，一般來說，保护范围是一个以避雷針尖为頂点的上小下大的圓錐体，斜面的傾斜角約等于 45° ，出此范围，就不发生作用了。

(3) 电信电杆上的避雷地綫：

长途电信綫路电杆上裝置的避雷地綫，有两方面的作用：

1) 避雷針的作用：普通電信電杆高度約 7 公尺，杆档距离 50 公尺。根据上述理論，電杆避雷地綫应仅能保护電杆本身，不过雷电放电总是要选择阻抗最小的路徑的，雷云高度平均等于 3—4 公里，放电时离开地面大約 100 公尺时，基本的放电分成一系列的分支，在靠近地面的分支末端之間的距离約为 60 公尺上下，考虑到这种情况，我們可以估計，如无其他因素，雷云放电路徑是要选择有地綫的電杆而不选择杆档中間的，也就是說電杆上的地綫除保护它的本身外，还減少了杆档中导綫遭受雷击的机会。

2) 降低電杆絕緣电阻的作用：当导綫上因直击雷或感应雷的作用而产生了过电压的电浪时，这电浪沿导綫經過有地綫的電杆时，就会发生很大的洩漏电流，并且在导綫上产生反射波，于是显著地減低了电浪的幅值，也就是說電杆上的地綫增加了电浪在导綫上的傳播衰耗值，縮短了电浪的傳播距离。

2. 保安器：

雷击电浪常从导綫上侵入室内，由于它的过高电压以及因而产生的超額电流，对设备是一个很大的威胁，保安器就是为了防止这个危害作用而設的。一般保安器包括熔綫和避雷器两部份，也有加上热綫圈的；避雷器的作用主要是削弱过高的电压，熔綫的作用則是防止过大的电流。

電信綫路上所用避雷器分炭精板避雷器及真空管避雷器



图 2

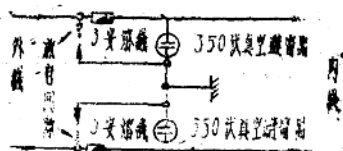


图 3

两大类。炭精板避雷器多用于区内回綫，真空管避雷器則应用于长途回綫及重要回綫上。应用炭精板避雷器及真空管避雷器的保安器接綫图如图2、图3。

(1) 炭精板避雷器：

炭精板避雷器的基本构造是在两块炭精板間夹入一块云母片，云母片或开有缺口或穿有小洞，使炭精板間維持一个不大的空气隙。炭精板一块接电綫路，另一块直接接地，如电綫路为双綫回路时，則应用两组这样的炭精板。炭精板避雷器防雷的关键在空气隙，因为雷击电浪是高频（冲击性）高压的电波，它一定要找电感电阻很低的地方通过，炭精板的空气隙正准备了一个理想的路徑。高低不同的电压与所能通过的空气隙的大小有一定的关系，所以空气隙的大小直接关系到避雷器的灵敏度，在常温常压下，对于700伏（有效值）以下的击穿电压可以依每100伏（有效值）0.022公厘核算空气間隙，而对于700伏至1,500伏（有效值）的击穿电压則依每100伏（有效值）0.025公厘核算空气間隙，例如，要調整炭精板避雷器在500伏时放电，則云母片的厚度应为 $0.022 \times 5 = 0.11$ 公厘。通常云母片的厚度为0.12—0.15公厘，相当于550—700有效伏的击穿电压。

炭精板避雷器还有许多其他形式，如有不用云母片而用磁板垫起的；也有在炭精板內层涂上約0.01公厘厚的顏色漆来代替空气隙的；也有一側用炭精板，另一側用磁块，在磁块中間嵌一小块炭精板，小炭精板与磁块間用一种玻璃胶黏着；使小炭精板与大炭精板間有一定的空气隙，遇放电时玻璃胶受热熔化，于是将外綫接通大地的。无论何种形式，原理都相同，然而都不如夹云母片的一种易于檢查維修，故无討論必要。

(2) 真空管避雷器：

真空管避雷器是在真空管內裝置相對的兩片鋁片或銅片并充入氬氣所構成，兩片鋁片（或銅片）間維持一定的間隙，并各引出真空管的一端，在一端接綫路，一端接地。放電電壓高低可由鋁片大小、間隙遠近及氣壓大小等因素來調整。蘇聯 PA-450 型真空管避雷器，電極為鋁制，放電電壓 350 ± 40 伏特（振幅的），短時電流容許值 3 安培以下，這種避雷器主要為避雷之用。PB-280 型真空管避雷器，電極為銅制，放電電壓 230 ± 30 伏（振幅的），短時電流容許值 30 安培以下，這種避雷器主要為防止高壓輸電綫危險影響用的。國產寶光 P-1001 號真空管避雷器放電開始電壓 350 伏 $\pm 10\%$ ，放電容量 5 安培，放電繼續時間 5 秒鐘以內。

真空管避雷器也和炭精板避雷器一樣，是為雷電放電電流準備一條電感電阻都很小的路徑，同時真空管內的氬氣有促使電弧熄滅的作用，於是防止了真空管的過熱。真空管避雷器優于炭精板避雷器的地方，就是在放電後，真空管避雷器不留甚么痕跡，并且隨時準備繼續的放電，因此一方面減少了維修的困難，一方面避至了回綫中斷事故。

真空管避雷器常附有火花螺絲的裝置，它的放電間隙與真空管避雷器并聯。蘇聯僅 PA-350 型真空管避雷器附有火花螺絲，這火花螺絲是準備在熔綫爆斷後為續來的高電壓預備一個容易放電的途徑，以前一般調整到 1,000 伏特，現規定調整到 400—700 伏特，因為火花螺絲尖端比較尖而另外電極就是底座平板，尖端對平面的裝置是最容易击穿放電的，大約每公厘 2,000 實效伏的電場強度就可以促使放電，所以火花螺絲的間隙應調整至 0.2—0.35 公厘左右為合適；不過這個數值不是絕對的，因為這種裝置的击穿電壓與空氣濕度及電極極性有很大的關係，空氣愈潮濕，击穿電壓愈增加，又尖端為正極時的击穿電壓較尖端為負極時要小得多，考慮到

在雷雨时空气既然比較潮湿，而雷击电浪的极性，負的常比正的多，因此調整放电螺絲間隙，宁可調小一些。

(3) 避雷器的作用：

避雷器用来是对室内设备起分路作用。假设导线阻抗为 Z_1 ，室内设备阻抗为 Z_2 ，避雷器连同地线的电阻为 R （如图4），则当有一幅值为 U_0 的矩形波投射到此导线时：

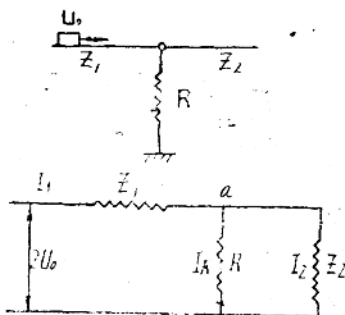


图 4

$$2U_0 = I_1 Z_1, \quad + I_R R = (I_2 + I_R) Z_1 + U_R$$

U_R 即导线接避雷器之点的对地电压，也就是室内设备所经受的电压：

$$\therefore I_2 = \frac{U_R}{Z_2}$$

$$\therefore 2U_0 = \left(\frac{U_R}{Z_2} + I_R \right) Z_1 + U_R = \frac{Z_1}{Z_2} U_R + U_R + I_R Z_1$$

$$\frac{Z_1 + Z_2}{Z_2} U_R = 2U_0 - I_R Z_1$$

$$\therefore U_R = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2} U_0 - \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2} I_R$$

如果室内设备絕緣很好，則 $Z_2 \rightarrow \infty$

$$\text{而 } \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{1}{\frac{Z_1}{Z_2} + 1} = 1,$$

$$\therefore U_R = 2U_0 - Z_1 I_R$$

$$\therefore I_R = \frac{U_R}{R}$$

$$\therefore U_R = 2U_0 - \frac{U_R}{R} Z_1, U_R + U_R \frac{Z_1}{R} = 2U_0.$$

$$U_R \frac{R+Z_1}{R} = 2U_0, U_R = \frac{2R}{R+Z_1} U_0.$$

$$\therefore \frac{U_R/Z_2}{U_0} = \frac{2R}{(R+Z_1)Z_2} = \frac{2}{\left(1 + \frac{Z_1}{R}\right)Z_2}.$$

从上式可以看出：当

$$\frac{Z_1}{R} = 1 \text{ 时, } I_R = \frac{U_0}{Z_2};$$

$$\frac{Z_1}{R} = 3 \text{ 时, } I_R = \frac{U_0}{2Z_2};$$

$$\frac{Z_1}{R} = 5 \text{ 时, } I_R = \frac{U_0}{3Z_2}.$$

即 R 越小，通过室内设备的电流越小。

在线路遭受雷击，外线电压很大时，避雷器即击穿而短路，这时如忽略地线电阻的话，理论上看来，就没有电流流过室内设备。一般说来，保安地线电阻是有一定的大小的，如果该电阻太大，则避雷器会失去其预期的作用。因此，尽量减低保安地线电阻，为防止雷害的主要条件之一，但是我们还可以利用避雷器放电时，电压保持定值的特性，使室内设备不受雷击过电压的危害（如图5），将室内设备的工作地线或机壳直接接至保安地线，那末室内设备所经受的电压，永远等于避雷器两极间的电压，例如，一般真空避雷管在放电时两极间的电压保持在70伏左右，这样的电压对室内设备的绝缘来说，就没有什么危害了。



图 5

(4) 熔线：

熔线的作用是当电路内通过的电流超过规定数值时，在

一定時間內，熔綫自己爆斷，因之切斷電路，使室內設備避免遭受損害，關於熔綫的規範有安全電流值，極限電流值及爆斷電流值三種，必須首先區別清楚，普通應用熔綫時，熔綫的標稱值，應該是它的安全電流值，所謂安全電流，就是通過這種電流經過無限長的時間，熔綫不應爆斷，比如我們所稱 3 安培熔綫，當它通過 3 安培的電流時，它應該永遠不爆斷，因為綫路內常有瞬時的超過正常數值的大電流通過，如果熔綫遇稍大電流即行熔斷，則不但麻煩，而且不必要，故必有一容許的範圍，所謂極限電流，就是通過這種電流時，在 20 分鐘內，熔綫不應爆斷，所謂爆斷電流，就是通過這種電流時，熔綫應在 20 秒鐘內一定爆斷，一般保安器用熔綫，極限電流值約為安全電流值的 1.2 倍，而爆斷電流值又為極限電流值的 1.5 倍。

熔綫對於防止雷害，究竟起什麼作用呢？要解答這個問題，首先還要討論一下熔綫另一個重要的特性，即反時間特性，就是說，當通過熔綫的過量電流愈大時，則所需爆斷的時間愈短，如以安全電流為 3 安培的熔綫為例，當通過電流為 4.5 安培時（爆斷電流），熔綫在 10 秒內爆斷，當通過的電流為 19 安培時，熔綫將在 0.012 秒內爆斷，而當通過的電流為 39 安培時，熔綫將在 0.004 秒內即電爆斷，電流更大爆斷的時間更短，不過當電流超過安全電流 10 倍以上時，爆斷時間的縮短比較慢些罷了，從這裡可以得出這樣的推理：

1) 熔綫的爆斷時間是以秒為單位計算的，而雷擊電浪的時間是以微秒為單位來計算的，室內設備的絕緣，也是在幾微秒之內就可被打穿的，所以當有雷電襲擊時，在熔綫還沒有來得及切斷電路時，雷擊電浪早已侵入室內設備了（如無避雷器阻住時），甚至在熔綫爆斷的頃間，由於金屬蒸氣導電的原故，雷擊電流仍然可以通過，這說明熔綫並不能防

止室內設備遭受雷击高电压的危害。

2) 直击雷的电浪，虽延时不过数十微秒，但每次雷击可以包括一连串数十个电浪，加上間隔時間，总延时可达千分之几秒，又感应雷的电浪，延时至少几百微秒，前面說过电信线路上的雷击电流最高可达400安，普通約100安上下，根据反時間特性，对于3安的熔綫，当电流超过30安时，熔綫在0.005秒內就熔断了，因此在雷害剧烈地区，熔綫常要爆断的。由于熔綫的爆断，就保证了避雷器的安全，因为这样的雷击电浪，可能要超过了避雷器的放电容量的，如果避雷器因放电电流超过容量而损坏，那末随后的雷击就会把設備打坏了，这说明熔綫有保护避雷器因而間接保护設備的作用。

另外，因为保安器除防雷以外，还要防止人为高压电的危害，人为高压电如偶然略入电信线路时，由于它电压高、延时长，危害性并不亚于雷电，并且在这种情形，总是要超过避雷器的容量的，因此熔綫的保护作用更显得重要了。

(5) 热綫圈

热綫圈是为防止潜入的小电流损坏机器而装設的，关于潜入小电流的危害情况分述如下：

1) 外綫上偶然感到低压电流，而电压强度不足使避雷器动作。

2) 避雷器耐压較高。

3) 在单綫上工作的設備，如电报机、闭塞机等，生成的易于遭受縱向电流的危害。

4) 在双綫上工作的設備，如絕緣不良发生严重的漏电时，也易于遭受縱向电流的危害。

热綫圈的動作电流根据室內設備最大容許电流来决定的，目前磁石电话保安器所采用的热綫圈動作电流是110毫

安，動作時間是 210 秒以內，電阻 20—30 歐姆，但共電及自動電話機由於由電話局供給電源的關係，當拿起送受話器時外線上即有電流通過，所以不適宜於裝熱線圈，一般在共電或自動電話局配線架上裝用的熱線圈動作電流是 500 毫安，動作時間也是 210 秒以內，電阻 3—4 歐姆，蘇聯標準，熱線圈可以 0.15 安的熔線代替，動作時間 20 秒以內。

3. 排流線圈與扼流線圈

(1) 排流線圈

排流線圈接法如圖 6，它的作用可分三方面來說：

1) 對於雙線回路，每側回線各裝避雷器一個，如果同一回線兩避雷器放電電壓不相同，當有雷擊電浪襲擊時，一側的避雷器已放電，但另一側的避雷器還不能放電，這時另

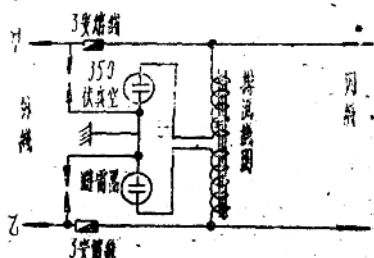


圖 6

一側回線上的電浪將通過室內設備繞至放電的避雷器進行放

電，由於在室內設備上引起所謂

衝擊音響，當能量超過 20 千分焦

耳時，對人耳的刺激是有害的，

排流線圈有促使兩避雷器同時放

電的作用，因之可以避免衝擊音

響的危害，如圖 7，如甲線的避

雷器先動作，因在乙線線圈內所

產生的感應電動勢，其方向適與外

線的感應電動勢相同，兩電動勢

相加，故有促成乙線避雷器同時

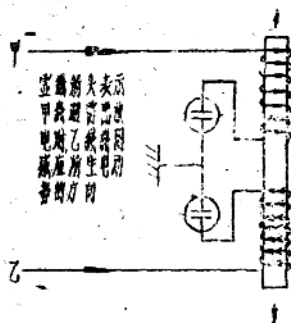


圖 7

动作的作用。

2) 在未装排流线圈时，如两侧的避雷器同时动作，则在动作的瞬间，回线等于短路的情况，对载波电话电路特别是音频电报电路发生不小的干扰，但装设排流线圈后，如图7，当两侧避雷器同时动作时，两线圈实际等于串成一个线圈，对于两线圈来说，得到一个最大的阻抗，于是显著的减少了避雷器动作对载波电话及音频电报的干扰，根据苏联试验结果，例如，在离收报站5公里处，向接有排流线圈和避雷器的被试验回路的导线送去600个过压脉冲（代替雷击电浪），在避雷器动作的时间内（10分钟），音频电报电路的动作是正常的，发送电文中无任何失真，当向连有避雷器但不连排流线圈的同一回路的导线上发送脉冲时，在过压脉冲动作时间内（10分钟），却发生40个失真，不过排流线圈的两部份应该平衡，如果不平衡效用会减少的。

3) 排流线圈是由两只绕在同一铁芯上的线圈组成的，铁芯是由具有高度导磁率的强磁性材料制成，当外线受雷电感应产生对地电位使避雷器动作时，因两线圈内所生磁力线方向相反相消，故两线对地阻抗仅等于线圈的直流阻抗，也就是说对放电电路的阻抗极小。

排流线圈的另一种接法如图8，作用是一样的。

(2) 扼流线圈

如图9，将扼流线圈接在避雷器与室内设备的中间，应该得到三个好处：

1) 凡电波通过电感线圈时，在初通的瞬间，因受电感的阻挡，不能即时通过，此时电流变成零而电压变成增加一倍，此后电流开始穿过线圈，随时间而变化，利用这种电压

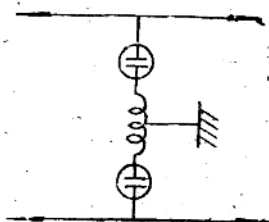


图 8

驟增的性質，可以促使避雷器放电。

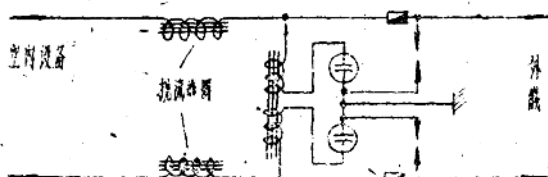


图 9

2) 短波 (雷击电流都是短波) 通过电感线圈后，电压幅值即减低，减低的程度与电感量及波长等都有关系，电感量越大，波长越短，电压减低越多，这说明扼流线圈能使室内设备多一种安全的保障。

3) 扼流线圈既减低了入侵电压的幅值，因此也减低了入侵电波的干扰作用。

不过经过进一步的分析，就发现要达到上面三个目的，电感量是需要相当大的。

1) 如有矩形波投射到阻抗为 Z_1 的导线如图10所示，导线经过电感 L 后，阻抗为 Z_2 (室内设备对地的阻抗)

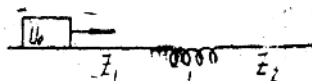


图 10

由于阻抗变动，在电感前面将有反射波出现，又由于有电感的存在，反射波将经过一段瞬变过程后，再趋稳定，自波头抵达线圈之时起，反射波因时间而变化的关系如下式：

$$U_{Omp} = U_0 \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} + \frac{2U_0 Z_1}{Z_1 + Z_2} e^{-\frac{t}{T}}$$

U_{Omp} ——反射波的幅值 U_0 ——投射波的幅值

$T = \frac{L}{Z_1 + Z_2}$ ——决定电流变化的时间常数