

高压电力设备的 防雷装置及其运行

王一字 陆天民 編著
張慧芬 吳宗富

電力工業出版社

目 录

第一章 总論	2
第一节 防雷工作的重要性.....	2
第二节 防雷設備和維護工作.....	4
第二章 架空地綫	6
第一节 架空地綫的保护作用.....	6
第二节 架空地綫的架設和維護工作.....	9
第三章 避雷器	12
第一节 避雷器的种类和作用原理.....	12
第二节 避雷器的运行和維護工作.....	25
第四章 放电間隙	42
第一节 放电間隙的保护作用.....	42
第二节 放电間隙的維護工作.....	44
第五章 重合熔絲	45
第一节 重合熔絲的作用.....	45
第二节 重合熔絲維護工作中的注意事項.....	51
第六章 接地設備	52
第一节 接地裝置的一般概念.....	52
第二节 接地引下綫和接地裝置的安裝.....	54
第三节 接地电阻的測量.....	57
第七章 配电設備雷击后的檢查工作	59
第一节 架空綫路.....	59
第二节 配电变压器.....	61
第三节 雷电流記錄器(磁鋼片雷电流記錄器).....	62
附录一	68
附录二	70
附录三	70
附录四	72
附录五	72
附录六	73
附录七	73

第一章 总 論

第一节 防雷工作的重要性

每年的三、四月間，我們可以开始听到轟隆隆的雷声和看到閃电。最初这种雷电現象离我們較高較远，發生的次數也比較少。一般地說，这时候的雷电比較輕微，对供电設備的危害性比較小，但是，也有發生严重雷害事故的事例。随着气候的逐漸轉热，發生雷电的現象也較頻繁而强烈。七、八月是雷电活动最多和最强烈的季节，也就是对供电設備危害最大的时候，到九、十月間雷电就逐漸減少了。从雷电开始發生到停止活动为止的这一阶段，我們称它为雷季。雷季的开始与終了是随着地区的不同而有先后与長短的，在我国一般是从三月到十月，但是南方有些地区是从一月到十一月。

在雷电最活躍的七、八月中，甚至在雷季一开始的时节，它就給我們的供电系統帶來了很多災害。例如：配电变压器的套管被雷击碎；引入綫对鉄壳閃絡，保护熔絲燒断引起停电及变压器綫圈絕緣击穿因而燒毀；綫路絕緣子击碎开关跳脫；木桿、木橫担劈裂；甚至雷电沿着架空綫侵入变电所，將油开关套管击坏或將主变压器綫圈絕緣击穿而損坏，以及侵入发电厂击坏發电机，造成大量停电等严重后果。

这样看来，雷电的危害性是很大的，对我們的安全發供电是有很大大威胁的，因此，防止雷害工作就成为电業部門反事故斗争的重要环节之一。

那么，我們是不是有办法来防止呢？我們的回答是“有

办法防止雷害”。

雷电是一种自然现象。主要是天空中的饱和水蒸汽受强力的上升气流的作用，在水滴分裂过程中，微細水滴帶有負电荷，形成雷云的基本物質。这种雷云越积越多，使得四周的空气受到很大的电场强度作用，使附近的空气电离(註1)而导电。这种云层中的电荷当逐渐接近鄰近帶有異性电荷的云層、大地或是地面上的建筑物与电气设备时，它与这些物体之間的空气逐渐电离，形成閃电的通道，最后就發生了正电荷与負电荷的中和作用，同时發出强烈的电光和巨响。当直接对着供电設備放电时，可能使設備的电位升高到几百万伏，这就是直击雷。如果在架空导綫附近，云层对地放电，也可能在架空导綫中引起40—50万伏的高电压(一般20—30万伏)，这就是感应雷(註2)。这种很高的电压加在电气设备上，如果預先不采取保护措施，設備的絕緣(例如瓷套管、絕緣子、变压器油、导体外面所包的云母或者隔电紙、两个帶电体之間的空气間隙等等)受不住这么高的电压，就会發生击穿現象，即高低压綫卷之間，綫卷的層間或者帶电体对地之間發生通路短接的現象。由于尾随流过大量的工頻电流，因而燒坏設備，或者發生接地現象，引起不正常的运行，这就是簡單的雷电击坏設備的經過情况。

由于最近几十年来的不断研究与实验，尤其是苏联的科学家们对雷电现象更是进行了有系統的和深入的研究与实验，并經過了实践的証明，得出了有系統的、全面的、具体的防雷方法。这些方法就是我們与雷害作斗争的有力武器。

科学是在不断地向前發展，因此，我們必須重視防雷工作，积累我国自己的經驗，来进一步做好我們的防雷工作，逐漸減少以致消灭电力系统中的雷害事故。

第二节 防雷設備和維護工作

(一) 防雷設備

上一节中已經說到雷击可分成兩種：直击雷和感应雷。它們都要在电气設備上产生很高的电压。防雷工作基本上分成四个方面，即：（1）不使雷电直接击中电气設備；（2）限制在电气設備上所产生的高电压波的数值到某一个对設備沒有危險的程度；（3）加强架空綫路的絕緣力量，使它万一被击穿后，短路电流能够自动很快的熄灭，使开关不致跳脫；（4）万一开关跳脫后，使开关能够自动的再行合閘，在很多情况下是可以重合成功避免大量停电的。

对于第（1）种防止直接雷击的措施，我們采用了避雷針，架空地綫（或称避雷綫）；对于第（2）种防雷措施，我們采用了管型避雷器、閘型避雷器、放电間隙、靜电电容器、电抗器、变电所进出綫段上的架空地綫保护等等；对于第（3）种防雷措施，我們利用了木質絕緣，采用木横担；对于第（4）种防雷措施，我們采用了自动重合閘，自动重合熔絲等裝置。

这本小册子預备只談談下列主要防雷設備：

1. 架空地綫；4. 重合熔絲；
2. 避雷器；5. 接地設備。
3. 放电間隙；

因为这些防雷設備都有它的接地設備，而接地設備在防雷工作中也佔相当重要的地位，所以还必须將接地設備加以簡單的討論。

(二) 防雷設備的維護工作

防雷設備和其他的电气設備一样，也要进行維護檢修工

作。尤其目前尚有一些防雷設備的性能還不很好，因此必須注意維護檢修工作。如果防雷設備維護得不好，它自己就要發生故障，因而失去保護作用，甚至影響到其它電氣設備的安全運行。

我們不但要注意防雷設備在運行中的維護工作，同時還須注意避雷器在運輸和保藏過程中的某些工作，因為這些工作做得不好，同樣會使它們的性能變壞而起不到保護作用，因而使被保護的設備在雷擊時遭受損壞。

以前我們在維護工作方面注意得很不夠，因此必須加強這項工作，只有這樣才能真正做到使防雷設備發生作用，達到安全發電和安全供電的目的。

〔註1〕電離——任何物質都是由很多肉眼看不到的原子所組成的。在原子的中心又有原子核，在原子核的外面有電子圍繞着。原子核帶正電，電子帶負電；正電與負電數量相等，因此人們說原子是“中性”不帶電的。但是在一個強大的電場中，就有很大的力量將電子與原子核分開。電子與原子核一旦被分開後，分出來的電子是帶負電的，向正極跑；剩下來的原子核及它周圍不能被拉走的電子，因為少了一部分帶負電的電子，所以剩下來的這一部分就變成帶正電，向負極跑。這種帶電的粒子的跑動，就使得這種物質能導電。這種使原來不傳電的物質（例如空氣）在外加電場的作用下，使它分成帶電的粒子而能夠導電的現象，稱為電離。

〔註2〕感應雷——當天空中有帶電的雲層存在時，我們就說這雲層帶有電荷。由於電荷的同性相斥，異性相吸的作用，它就使附近的導線上吸引着符號相反的電荷（如果雲層帶有負電，則與雲層靠近的導線一邊就被吸引而帶正電，而導線離雲層遠的一邊代有負電），這種吸引着電荷，我們稱之為感應電荷或束縛電荷。一旦雲層對大地或對另一雲層放電後，因為雲層里原來的電荷由於放電之後，負電與

正电中和而不带电了，那么导线上原先被感应出来的电荷就没有外力束缚住而变成自由电荷；由于导线上积聚了很多电荷，它的电压就比远处导线的电压来得高，因此，这些积聚着的电荷就要向导线的两端流动，于是就有两个电压很高的电压波，在导线上分向两端移动。这种电波因为是被雷电感应出来的，所以又被称为感应雷。

第二章 架空地线

第一节 架空地线的保护作用

当带电的云层要向地面放电时，如果没有架空地线，就很可能直接向导线上放电；这就是所谓直接落雷，或称直击雷。直击雷的电压很高，一般的电气设备都不能承受，会发生闪络现象（绝缘物表面发生穿火）。直击雷对电气设备的危害最大，要预防它，就要设法使雷云放电时，不落到导线上，我们可以用另外一条或两条金属线架设在导线的上面遮

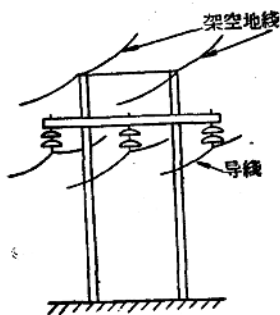


圖 1 利用架空地线做直击雷保护

盖着它，并将这根金属线沿着每根电杆予以接地（见图 1 和图 2），这样的金属线就称为架空地线或避雷线。因此架空地线是为防止架空输电线路遭受直击雷而用的。当雷击于架空地线上时，雷电流就沿着架空地线分向两端流动（见图 2），它的绝大部分就在最近的接地引下线处入地，小部分则流到

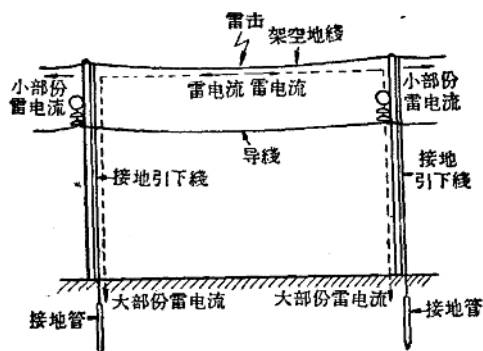


圖 2 雷击架空地綫时，雷电流流动情况

較远处的电桿，再經接地引下綫流入地中。

为了要使雷电流尽快地流入大地，减少对设备(例如綫路絕緣子)的威胁，必須把每根电桿上的架空地綫都接地。

架空地綫虽然能防止直击雷，但是它的使用范围一般还是有限制的，一方面因为安装架空地綫須要增加建設費用，另一方面在电压較低的系統(例如 20 千伏以下的電力系統)上，安装架空地綫并不一定能收到良好的效果。关于这一点，可以解釋如下。

圖 3 甲所示为当雷击于 I 桿上时，約有 60%—80% 的雷电流 I_1 从 I 桿的架空地綫的接地引下綫入地，其余 40%—20% 的雷电流 I_2 、 I_3 分別向左端及右端的架空地綫流去，經過相鄰电桿的架空地綫的接地引下綫入地。圖 3 乙所示为架空地綫，它好像一根水管，各桿的接地引下綫好像分支水管。雷击于 I 桿上时，好像在 I 管上有一开口，从該处往管内倒水。剛倒水时，I 管流出的水一定較多，而 II 及 III 管流出的水較少(因为 I 管比橫水管粗、阻力小)。再看圖

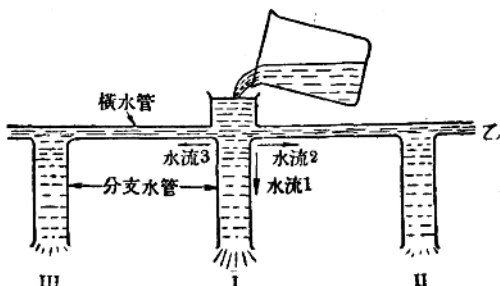
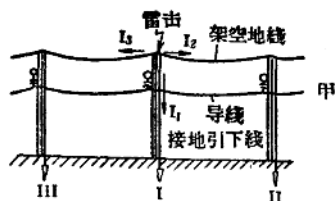


圖 3 甲—雷击架空地线，从接地引下线洩放雷电流

乙—用水流解釋雷电流在架空地线和接地引下线中流动情况示意图

3 甲，如果 I_1 很大，那么接地引下线在桿頂部分的电压就会升得很高，但是导线的电压却并不高，所以就可能从接地引下线向导线放电，使导线受到很高的电压，电气设备受到損害。这种因为接地引下线(或者各种接地装置)中流过很大电流，使电位升得很高，因而發生从接地引下线向导线放电的现象，我們称它为“反击现象”，这种现象是必須設法防止的。“反击现象”可以拿圖 3 乙的水流现象来解釋。当我们从 I 管的上口向管内倒水时，如果水倒得很快，水流很大(相当于雷击 I 桿雷电流很大)，因为水来不及从 I 管、II 管和 III 管流出，那么水就会从 I 管的上口溢出来，这就好像雷电流很大时，要發生从接地引下线向导线放电的现象一样。

当系统的电压較低时(例如 20 千伏以下的电力系统)，导

綫对电桿的絕緣不高，可能只靠一只絕緣子，或者还加上一段木橫担来承受。虽然这样，比起 35 千伏以上电压系統的絕緣能力要低得多，因此，只要雷电流稍微大一些，接地引下綫上电位的升高就足以發生反击。在这种情况下要防止反击是比較困难的。所以說在較低电压系統上安裝架空地綫的效果不大，一般都是不裝的。

第二节 架空地綫的架設和維護工作

从前面一节的說明中，我們已知道架空地綫必須能导电，因此它必須用金屬材料制成，但是它并不需要像銅綫这样好的金屬材料。为了節約用銅，我們就應該用其它便宜的材料。此外，在選擇架空地綫的材料时，更重要的是要有相当大的机械强度(不容易拉斷)，因此我們就用鍍鋅鋼綫作架空地綫。为了使它有一定的机械强度，一般都使用截面积不小于 35 平方公厘的鍍鋅鋼綫，但是在無鍍鋅鋼綫时，在一般档距不大的情况下，也可以使用鍍鋅鉄綫。

架空地綫的保护作用，可用保护角來說明，如圖 4 所示。从桿頂掛架空地綫的一点，作一条垂直綫，再通过这点与外側导綫連一根直綫，这两根直綫所夾的角度称为保护角。这并不是說裝了架空地綫后，导綫就不会遭受雷击了，雷电还是有可能直接打在导綫上的，不过它的机会和保

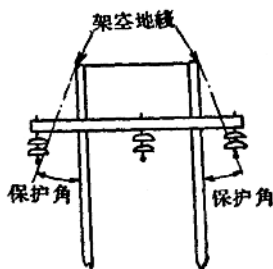


圖 4 架空地綫的保护角

护角的大小有关。保护角大，导綫受雷击的机会就多，架空地綫的保护作用就小，反之，保护角小，导綫受雷击的机会

就少，架空地綫的保护作用就大。但是当保护角做得較小时，因为要使导綫与架空地綫在档距中間保持一定的空間距离，电桿就要高些，費用也就要多。一般根据綫路的重要性，采用的保护角在 $20-30^{\circ}$ 之間。

前面已經談到，当通过接地引下綫的雷电流很大时，可能發生反击。但是桿頂电位的升高，并不一定要在雷电流很大时才能發生。假若接地电阻很大，在較小的雷电流通过时，接地引下綫的电位也可能升得很高。我們知道，水在水管中流过的时候，管子愈細，水就愈难流过，这就是說管子对水有一种阻擋的力量，不讓水暢快地流过。管子愈粗，阻力就愈小，水就可以大量流过。同样当电流通过接地裝置时，也会要受到阻力的，这种阻力称为接地电阻。如果架空地綫接地引下綫的接地电阻很大，在通过雷电流时，就会使得架空地綫的电压升得很高，因而也可能对导綫放电。为了防止这种現象，我們必須設法將架空地綫的接地电阻尽量做低，一般說，不应大于 10 欧。另外对于木桿鉄橫担和木桿木橫担的綫路，其接地引下綫可以对横鉄担或木橫担跳开，以便增加其防止反击的絕緣能力。接地电阻的測量工作，至少每五年要进行一次。

为了要測量接地电阻，必須將被測的接地裝置从架空地綫的接地引下綫上拆开，因此規定架空地綫的每一根接地引下綫，在离地面約 3 公尺处要断开，然后用螺栓綫夾連接起来。所以要离开地面 3 公尺，是为了防止外人將連接綫夾碰开。

架空地綫桿頂的安裝，一方面要牢固，另一方面当架空地綫有伸縮摆动时，使它有一定的活动性，否則在它的固定地点容易使鍍鋅鋼綫受伤而折断，圖 5 就是架空地綫在桿頂

安裝情况的例子。圖 5 中所用的分流綫是使在系統中發生一

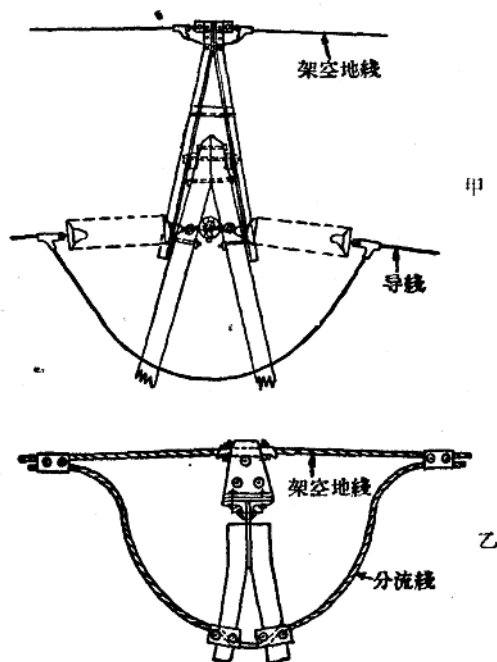


圖 5 甲—為高懸架空地綫而用的結構
乙—用帶分流綫的插動式綫夾在金屬的直綫桿塔上固定架空地綫

相接地故障時(中性點直接接地的電力系統), 接地故障電流可能有一部分要流過架空地綫, 或者有強大的雷電流流過時, 用分流綫可以減少通過金屬夾頭內的電流, 因為這部分與鐵塔接觸得不好, 容易發熱將架空地綫燒壞。

架空地綫的維護工作與一般的架空綫相似, 因此不再重復了, 不過要注意鍍鋅鋼綫是容易生銹的, 尤其是在空氣污

織的地区，如化学工厂附近，鋼綫更容易銹蝕，因此必須加強巡視和檢修工作，以免發生斷綫事故。

第三章 避 雷 器

第一节 避雷器的种类和作用原理

在架空地綫一章中講到，利用架空地綫可以防止導綫受到直接雷击。但是無論架空地綫受到直击雷，或者沒有受到直击雷，在導綫附近發生雷击，都會在導綫上产生相当高的电压，于是連接在这導綫上的电气设备就要受到这个高电压的作用。高电压达到某一个程度，就会把电气设备的絕緣击穿，因而损坏設備，發生事故。如果我們想办法在導綫上、在电气设备附近，裝一个絕緣能力低于正常設備的元件，使它在雷电时的放电电压比电气设备在雷电时的放电电压低，那么当雷电波到来时，就会在这种放电电压特別低的設備上放电，而不致將其它电气设备打坏。这种特制的放电电压比較低的設備，称为避雷器。

根据避雷器的作用原理和它使用的范围，可以分成兩大类：

一、閘型避雷器

我們知道在發電厂中的鍋爐汽包上裝有一个安全閘門。当蒸汽压力超过安全数值很大时，如果不設法將蒸汽放掉一些，就有可能發生鍋爐爆炸的危險，所以就裝上这个閘門。安全閘門能够自动的在气压达到某个数值时打开，將蒸汽放掉一些，使蒸汽压力降低到安全数值以內，然后閘門就自动地关上。閘型避雷器的作用正是这样，不过它是在电气设备上的一个安全閘門。当它所連接到的設備上有了很高的电压

超过某个对设备绝缘有害的数值时，避雷器就自动放电，使系统上的危险高压电变低到对设备没有危险的程度。当雷电波入地后，它又能自动封闭，使电力电流不至长时间地通过避雷器入地，它的作用如图 6 所示，水池好比是电气设备（例如架空线，变电所母线，变压器等等）。在它的底部有一

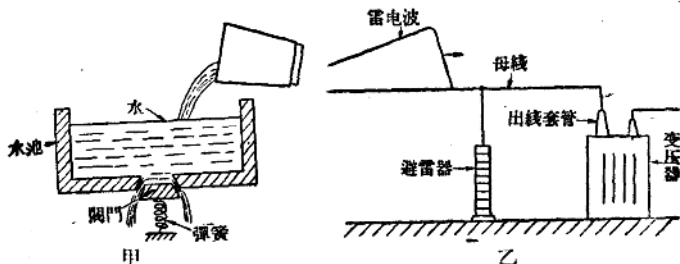


圖 6 甲—用水池閘門的作用解釋避雷器作用的示意圖

乙—雷电波向避雷器和电气设备侵入

个閘門好比是避雷器，如果往水池內倒水，那么加在閘門上的压力就渐渐增加，就像雷电波傳到母綫上时，在变压器套管上及避雷器上的电压逐渐升高一样。当在閘門上的水压力达到某个数值时（例如有 10 斤压力），彈簧被压缩，閘門开始打开，水池內的水就往外流，我們往水池內倒水完畢后，閘門还在放水，一定要等到水压力减少到 10 斤以下时，才会將閘門閉上。我們再看避雷器的情况：当电压逐渐升高后，到了某一个数值时，比如說 3 万伏，避雷器开始放电（这称为避雷器的冲击放电电压）。放过雷电后，加在避雷器上的电压，就是电力系统在这个时候可能發生的电压，可能比正常时的綫对地电压要高出將近一倍（例如 6.6 千伏的系统，正常时对地电压是 3800 伏，而在避雷器放电后，可能加在避雷器上的电压要超过 7000 伏）。这时，避雷器就好像閘門一样的

“封閉”起来，使电力系统的这一根相线对地不通，因为它的
作用同閘門一样，所以称为“閘型避雷器”。

閘型避雷器的簡單作用如上所述，但是它究竟靠什么来
起这样的作用呢？要知道这点，簡單地研究它的構造是很必
要的。閘型避雷器是由火花間隙及工作电阻兩部分所組成，
它的基本構造如圖 7 所示。

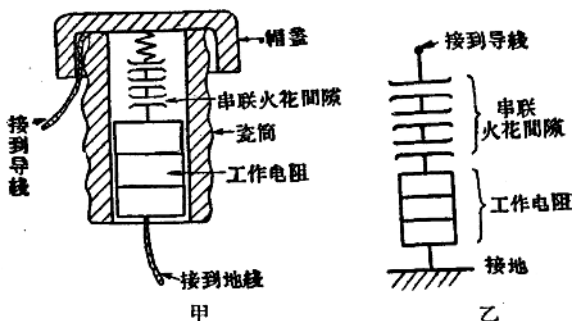


圖 7 甲—閘型避雷器構造示意圖

乙—閘型避雷器連接原理圖

火花間隙一般是由几个圓盤型的銅質電極組成的單間隙
串連而成的，它的作用是使避雷器的工作电阻在平时与电源
隔离，不受到电压的作用，不致長時間地流过不小的电流，
將工作电阻燒坏。此外，火花間隙可以使避雷器在放电后熄
灭其中流过的 50 周波电力电流，因为火花間隙在放电时等于
短路，所以綫路电压就直接加在工作电阻上，而工作电阻內
就会流过不小的 50 周波的电流，这个电流称为“續流”，一般
它不应超过 50 安。續流時間長了就会將工作电阻燒坏，因此
就必须依靠火花間隙来迅速遮断續流。

工作电阻可用不同的材料制成，但是这种材料必須有一
个特性，就是在較高的电压下，它的电阻变得很小，因此就

可以大量洩放雷电流；而在雷电压过去以后，它的电阻能自动地变得很大，因而把續流限制到一个較小的数值，这样就可以使串联的放电間隙很容易地將它遮断，而使避雷器恢复正常状态。工作电阻的主要作用就是帮助火花間隙来遮断續流。現在我們可以將避雷器的动作情况整个連起来說一下，当雷电波来到避雷器上时，由于雷电波电压超过某个預定的数值，所以避雷器的串联火花間隙就被击穿放电，这时雷电波就直接加在工作电阻上。在这种情况下，工作电阻所用的材料的电阻就会变成很小，因此大量雷电流就被洩放到地中去（这好比前面所講到的水池的閘門开啓將水放出一樣）。雷电波过去以后，50 周波的电压（电力系統的电压）就加在工作电阻上，由于雷电波很快地通过工作电阻，当 50 周波电流还来不及大量通过时，工作电阻的电阻值就已大大地增高，使通过它的續流小到只有几十安，这个續流就靠串联火花間隙將它遮断（好比水池內的水放出一部分后，水压降低，閘門自动关闭一样）。避雷器遮断續流的时间約为 1 % 秒。

实际上除掉旧式的氧化膜避雷器以外，閘型避雷器的串联火花間隙和工作电阻都是裝在一个瓷筒里面的，并加以密封，防止潮气侵入，以免损坏避雷器的性能。

閘型避雷器的动作原理已像上面所講，但是由于制造厂所用材料不同，制造方法不同，因此就有各种型式的避雷器。根据所用工作电阻的材料不同，大致可分为两种：一种是用二氧化鉛做成的丸子，外面塗一層一氧化鉛，再由很多这种丸子組成工作电阻，这种避雷器称为电阻丸式或丸閘式避雷器。二氧化鉛的电阻很低，易于通过电流，但当流过电流后，有一部分二氧化鉛受热变成一氧化鉛。一氧化鉛是一种电阻很高的化合物，我們就是依靠这种作用来限制續流到

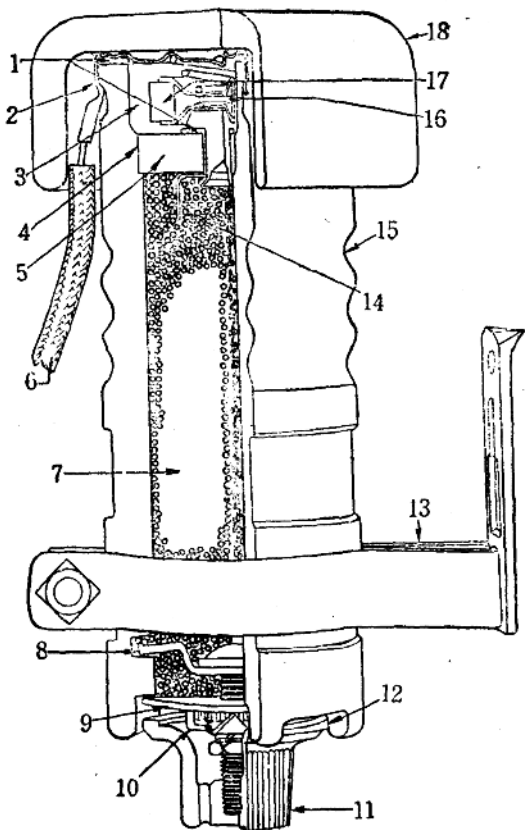


圖 8 奇異 3000 伏电阻丸式避雷器構造圖

1—合成橡皮做的墊座；2—銅帽；3—火花間隙小室內部充滿干燥氮氣；4—密封；5—瓷片用以隔絕火花間隙小室及电阻丸室；6—引入綫（美規 6 号橡皮包風雨綫 18 吋長）；7—电阻丸（不受氣中潮氣之影响）；8—金屬板用以卡住瓷筒使下端螺栓旋紧時不致轉動；9—底部蓋板；10—压紧接綫之夾头；11—膠木蓋；12—接綫伸出處；13—鉄帽；14—接綫套；15—瓷筒；16—火花間隙電極；17—瓷質墊圈；18—瓷帽。