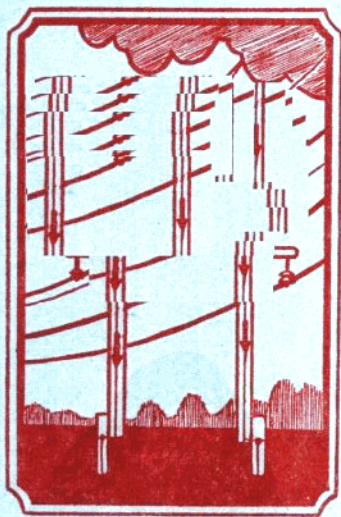


防雷知识

董 振 亞 著



水利电力出版社

內 容 提 要

本書首先对雷电的發生及雷电对人們的危害性作了簡要的說明。接着扼要地介紹了防雷設備的种类和構造，并詳細地敘述了各种电气設備和建筑物的防雷保护方法及其淺近的原理，使工人同志能更好地了解防雷工作的必要性和为什么要加裝这些防雷保护設備。最后对防雷工作中常用的几个名詞作了簡單的解釋，以配合前几章中的說明。

本書可以作为具有高小畢業以上文化程度的电气工人在業務学习时的参考資料。

防 雷 知 識

董 振 亞 著

*

854D312

水利电力出版社出版（北京西郊科學路二號）

北京市書刊出版業營業登記證出字第105号

水利电力出版社印刷厂排印 新华書店發行

*

787×1092 $\frac{1}{32}$ 开本 * 1 $\frac{1}{2}$ 印張 * 29千字

1958年6月北京第1版

1958年6月北京第1次印刷(0001—5,100册)

統一書号：15143·93 定价(第9类)0.16元

序 言

在每年的雷雨季节中，我們电力系统常常会遭受到雷害事故的严重威胁。根据几年来的事故统计，雷害事故约占全部电气事故的10%。常因雷害造成停电，给工业生产带来很大的损失，所以积极向雷害事故作斗争是刻不容缓的任务。

解放以后，我們学习了苏联先进经验，逐渐克服了雷害不是人力所能消除的思想，大力地开展了电力系统的防雷工作。通过几年来的改进，加装了大量的防雷设备，初步改变了电力系统防雷设备残缺不全的面貌，提高了防雷保护水平，使雷害事故逐年有所降低。

由于防雷保护是一件新的工作，从事于这项工作的同志就必须掌握这方面的知识，才能做好防雷工作。

根据电力工业部颁发的“过电压保护导则”的精神，和几年来对防雷工作的体会，编写了“防雷知识”这个小册子，以供具有高小毕业以上文化程度的电气工人在业务学习和工作中参考。但是，由于编著者水平的限制，错误之处在所难免，请广大读者随时提出宝贵的意见，以便今后修订。

編著者

一九五八年一月于北京

目 录

序 言

第一章 雷电的发生及对人类的危害性	3
第一节 雷电是怎样发生的	3
第二节 雷电对人类的危害性	6
第二章 防雷保护设备的种类和构造	7
第一节 避雷针	7
第二节 避雷线	9
第三节 阀型避雷器	10
第四节 管型避雷器	15
第五节 放电间隙	16
第六节 接地装置	17
第七节 重合闸装置	19
第八节 一次重合保险器	19
第九节 消弧线圈	21
第三章 防雷保护的 措施	22
第一节 旋转电机的防雷保护措施	22
第二节 变电所的防雷保护措施	25
第三节 输配电线路的防雷保护措施	28
第四节 配电设备的防雷保护措施	34
第五节 建筑物及其他的防雷保护措施	38
第六节 做好防雷运行工作的措施	39
附录 防雷工作中几个常用名词的解释	40
1. 雷电流陡度; 2. 雷电日; 3. 雷电小时; 4. 建弧率;	
5. 电位梯度; 6. 主绝缘; 7. 层间绝缘; 8. 绝缘配合;	
9. 雷电进行波。	

第一章 雷电的发生及对人类的危害性

第一节 雷电是怎样发生的

在悶热无风的夏天，天空中常常出現一朵朵的白云，而白云会逐渐变得越来越厚；云堆的底部就逐渐变成黑暗，而其上部仍旧显得很白，並且略有散开的样子。这种景象就意味着大雷雨即将来临。

天空中雷云的形成，必须具备以下三个条件：

- (1)空气中应有足够的水蒸汽；
- (2)使潮湿的空气能够有上升並开始凝結为水珠的条件；
- (3)使气流能强烈持久地上升。

在悶热的天气里，空气中的水蒸汽已接近饱和，所以空气是很潮湿的。加上无风的条件，就能使气流强烈地上升。在晴朗的夏天，由于太阳光的照射，接近地面的空气层很快地受热上升，这就是使气流能够持久地上升的首要条件。所以雷电常在悶热无风的晴朗的夏天发生。当然，除此以外，只要合乎上述三个条件，也会形成雷云，例如寒潮雷、热潮雷及山地雷^①等就是。

下面談一談雷云中的电荷是怎样产生的問題。由于上升的气流中，水滴分裂时产生了电荷，使带正(或負)电荷的水滴下降，带負(或正)电荷的水滴上升。等到一定量的电荷聚集在一起时，这个地方的电压就逐渐上升，直到带有不同电荷的云(或和大地之間)能使附近空气的絕緣击穿时，就发生了閃电現象。这种閃电可能是空中雷云之間的放电，也可能是雷云对大地的放电。我

①寒潮雷是强大的冷空气突然侵入热空气地带时产生的。热潮雷则是热空气流侵入冷空气地带时所形成的。山地雷常在沿海的山岳地带靠海的一面山坡上發生，所以叫作“山地雷”因为那里也有使气流上升形成雷云的条件。

們肉眼所看到的閃電就是放電時所產生的亮光；隔一會兒，就會聽到隆隆的雷聲，這種聲音是在放電過程中正負電荷中和時所發生的。由於聲音傳播的速度要比光的速度慢得多，所以我們總是先看到閃電，然後才聽到雷聲。

雷雲對大地的放電過程如圖 1 甲所示，這種放電是由雲端先發出一個不太明亮而以跳躍式向大地前進的通路開始的，這種現象叫做“先驅放電”。它的平均速度是 $100 \sim 1000$ 公里 / 秒，每跳躍前進五十公尺就要停頓約 $30 \sim 90$ 微秒（每一微秒等於百萬分之一秒），然後再繼續前進。當先驅放電的通路到達大地以後，才開始是我們肉眼所能看到的主閃絡。主閃絡是從大地開始向雲端發展的極明亮的放電通路，它的速度約為光速的 $1/3 \sim 1/5$ ，即每秒 $60,000 \sim 100,000$ 公里。隨著它的向上發展，它的亮度逐漸減低，一到雲端，主放電就中止了。主放電以後有微弱得多的“余光”。余光雖然微弱，但時間較長，可達千分之幾甚至百分之幾秒。“余光”階段過後就結束了整個衝擊放電的過程。

大約有 50% 的閃電具有“重複放電”的性質，平均每一閃電約有三次至四次衝擊，最多的曾有过几十次衝擊。但它的先驅放電不是以跳躍式向前發展，而是一次完成，其過程與第一次放電的過程沒有什麼不同。

圖 1 乙 表示雷電放電過程中雷電流的变化情況。在先驅放電時雷電流是不大的，此時，雷雲的負電荷在放電通路中積聚了起來。當先驅放電到達大地後，大地的正電荷很快地中和放電通路中的電荷，這就是主放電，因此它的電流很大，能達幾萬甚至幾十萬安培。至於余光則是雷雲中的主要電荷向大地泄漏的過程。圖 2 即表示先驅放電及主放電時電荷的中和情況。

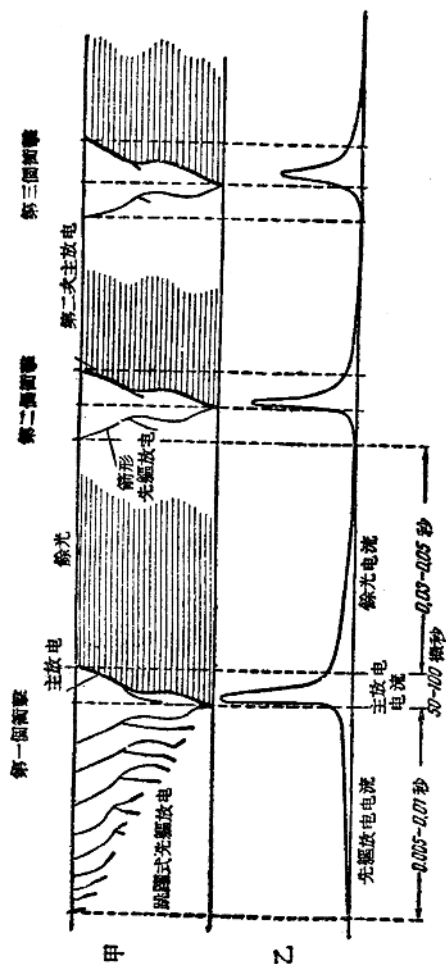


图 1 雷云对大地的放电过程

甲—雷云的放电过程；乙—放电过程中的电流变化情况。

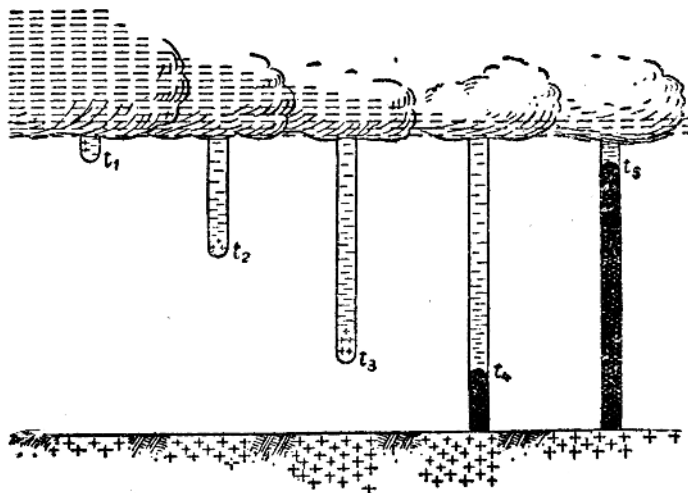


图 2 主放电时闪电通路中电荷的中和情况

第二节 雷电对人类的危害性

在过去，人們都認為雷电是一种不可思議的現象，是天上的雷公在作怪，要是誰做了坏事就会受到雷击的报应，並有人把雷击树木时所引起的火災說成是“天火”，並且認為以上这些災害是人力所不能消除的。可是，在人类掌握科学的今天，人們已經逐步地掌握了雷电的特性，証明雷电的发生是完全合乎自然界的規律，並且我們已經有了很多方法来防止它对人类的危害，誰也不会再相信那种迷信的傳說了。

雷电对人类的危害性非常大，要是雷击到人或动物的身上，由于通过的雷电电流很大，能使人或动物的心脏和大脑麻痺而造成死亡。雷电又具有热的和机械的破坏效应，因为雷电电流会产生大量的热能，如果碰到易于着火的物件，就常会造成火災。雷电

电流还会引起显著的机械性的破坏，如工厂里用磚筑成的烟囱、宝塔、鐘樓、房屋、树木及其他等遭到直接雷击时，就会发生严重的倒塌和劈裂等現象。每年全国各地都有这种情况发生；1957年7月北京市就发生了高大建筑物遭受雷击的事故多起，造成了很大的损失。对电力系统来说，雷电的危害性就更大了，当雷击电力系统的电气设备时，可能造成发电机、电力变压器、油开关及其他电气设备絕緣的损坏；綫路上的瓷瓶也会因雷击而发生閃絡或碎裂、导綫燒断和木电桿被雷劈裂等事故。以上这些事故都会給电力系统造成长时间的停电，使工业生产造成巨大的损失。在电力系统中每年都有雷害事故发生，給国家带来很大的损失，因此，必須大力加强防雷工作，逐步做到消灭雷害事故，以保証国家财产及人身的安全。

第二章 防雷保护设备的种类和构造

第一节 避 雷 針

避雷針是我們最熟悉的防雷保护设备之一，它高耸到空間，預先为雷电拟定一条放电的通路，以防止在避雷針保护范围内的设备遭到直击雷而造成损坏的事故。过去，有人認為避雷針的作用是由于它的尖端放电作用，使雷云中的电荷中和，因此就避免了雷电。这种說法是不正确的。事实上避雷針的作用是将雷电电流按照預定的通路洩入大地，因此，严格地说來“避雷針”的名称是不够恰如其份的，應該叫作“引雷針”或“导雷針”才对，但是由于大家的习惯，所以至今仍沿用“避雷針”这个名称。

在一定高度的避雷針下面，有一个基本安全的区域不致遭受到雷击，这个区域就叫做避雷針的保护范围。图3即为单支避雷針的保护范围，图4則为双支避雷針的保护范围。避雷針的保护范

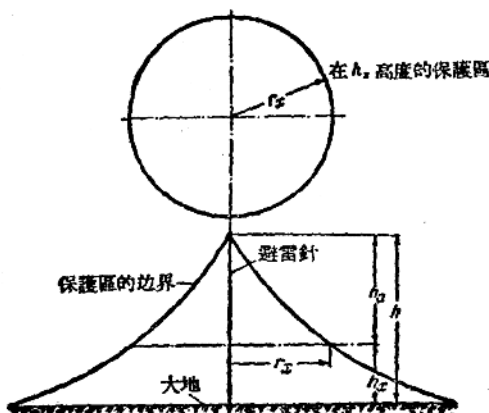


图 3 单支避雷针的保护范围

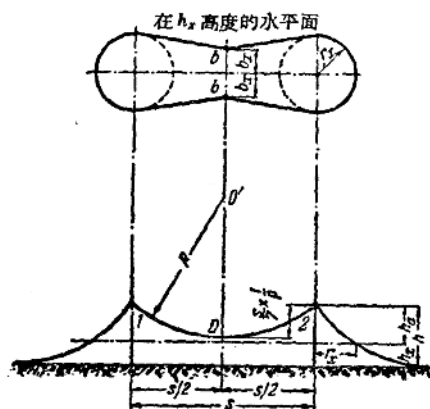


图 4 双支避雷针的保护范围

围与避雷针的数目、高度、相互位置、雷云高度及雷云对避雷针的位置都有关系，具体计算方法可以参阅电力工业部制订的“过电压保护导则”第二章。

在图 3 和图 4 中：

h ——为避雷针的高度；

h_c ——为被保护物的高度；

$h_i = h - h_c$ ——为避雷针的有效高度；

r_x ——保护半径；

$2b_x$ ——避雷针保护带的宽度；

s ——两支避雷针间的距离。

避雷针的构造

很简单，不管其型式如何，总是由下列三个主要部份组成：

(1) 接受雷电的导体或叫“受电尖端”，它是避雷针的最高部

份，专门用来接受雷电放电。“受电尖端”一般都用铁棍制成，其顶部略成尖形。

(2)接地引下线，它的主要任务是将“受电尖端”上的雷电电流安全地引导到接地装置，使雷电电流能很快地流入大地。接地引下线一般都用镀锌的铁绞线、圆铁或扁铁带做成。

(3)接地装置，是避雷针的最下部份，埋在地面下的一定深度，由于它和土壤密切结合，能使雷电电流很好地洩入大地。一般都是用铁管和扁铁做成的。

由于雷电电流很大，避雷针所用的导体应有足够的截面，以防止熔化，所以应该经过热稳定计算。

为了使避雷针具有一定的保护范围，所以避雷针应该用支持物使它高耸空间，支持物可以用木杆、铁塔或洋灰杆，也有用直径大小不同的铁管焊接起来的避雷针。为了充分利用建筑物的高度，有的避雷针按装在发电厂或变电所照明灯塔的顶部，也有就直接装在建筑物的顶部（房屋和烟囱的顶部）。总之，避雷针竖立的位置应根据具体情况来选择，目的是使它的保护范围能尽量扩大。

避雷针一般用来保护露天的配电装置、发电机的直配线路、烟囱、冷水塔、储存爆炸性或可燃性材料的仓库等建筑物。

第二节 避 雷 线

避雷线也叫架空地线，它是悬挂在空间的接地导线，它的作用也和避雷针一样，将雷电引向自己，并且安全地将雷电电流引入大地，因此，避雷线也是防雷保护的主要措施之一。

避雷线也有一定的保护范围，保护范围与避雷线的数目、高度、相互位置、雷云高度及雷云对避雷线的位置都有关系。

避雷线一般采用截面为25~70平方厘米的镀锌铁绞线，悬挂

在被保护物的上空。避雷线也用支持物（输配电线路的杆塔或其他支柱）悬挂在高空，隔一定距离后就沿着支柱引下接地线，与接地装置相联接。接地引下线也应有足够的截面，接地装置的电阻值在一般土壤电阻率地区应做到10欧姆以下，只有在高土壤电阻率地区才允许超过此数（一般最大不要超过30欧姆）。

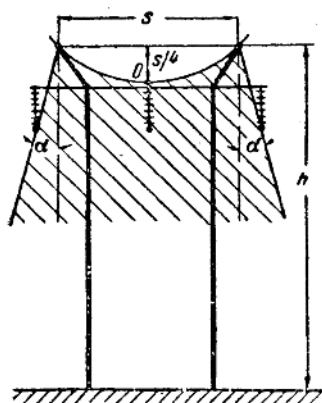


图 5 避雷线的保护角

一般用保护角来表示避雷线的保护程度，保护角就是指避雷线到导线的一根直线和避雷线对大地的垂直线之间的夹角，如图 5 所示的 α 就称为避雷线的保护角。保护角越小就越安全，但是杆塔就要加高一些，使线路的造价大为增加。从安全经济的观点出发，保护角一般采用 $20 \sim 30^\circ$ 为宜。

避雷线是送电线路防雷保护最主要的措施，它可以防止雷电直击导线，通过它把雷电电流安全地引入大地，以防止线路和其他电气设备发生事故。避雷线还可以用来保护面积较广的建筑和储存可燃物或爆炸性物品的仓库，必要时还可以用铁线编成网状的避雷网来保护重要的仓库和古代文物建筑。

第三节 阀型避雷器

阀型避雷器是发电厂、变电所最主要的防雷保护设备，目前，世界上保护性能最好的阀型避雷器是苏联出品的维利特阀型避雷器。我国在苏联的帮助下也制造了这种避雷器，并且能够基本上满足电力系统防雷保护的需要。但是，在我国电力系统中目

前还存在很多英国、美国、德国、瑞典、瑞士及日本等国家出品的閘型避雷器，它们的特性各有不同，有的保护性能较好，也有的保护性能很差。本节只介绍苏联及我国出品的避雷器，其他国家出品的避雷器不作详细介绍。

維利特閘型避雷器的内部构造主要包括火花间隙和閘性电阻盘(也可叫作維利特盘)，图6即为一种閘型避雷器构造的剖面图。它的工作原理如下：在电力系统没有遭受雷电过电压时，避雷器的火花间隙具有足够的绝缘强度，因此不会被正常的工频电压击穿

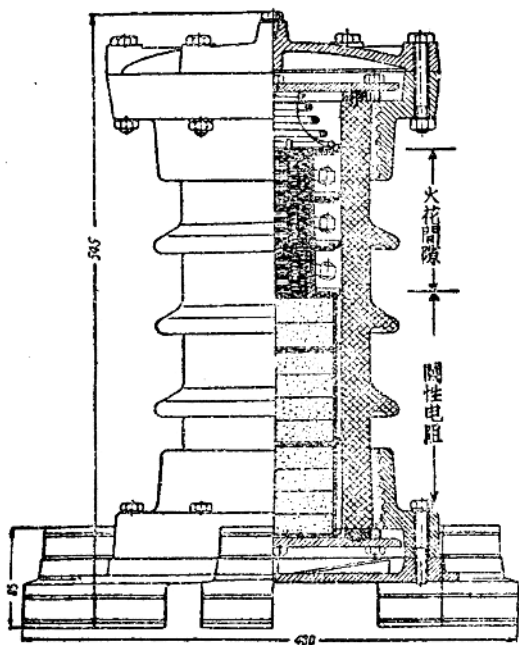


图 6 PBC-10型避雷器的内部构造图

穿，这时閘性电阻盘也没有电流通过。但是，当电力系统中有了危险的过电压时，火花间隙就很快地被击穿了，使电流通过閘性电阻盘而流入大地。閘性电阻盘有一个奇怪的特性，它的电阻不是按照欧姆定律来变化的(也就是非线性的电阻)。当閘性电阻盘加以工频电压时，它是一个高电阻，电流就很难通过；但是，当加以冲击高电压时，它又变得是一个低电阻了，使电流很容易通过。由于它具有这种特性，当通过雷电流时，在閘性电阻盘上的电压降(这种电压降叫作閘型避雷器的残压或剩余电压)很低；在雷电波过去以后，接着而来的是电力系统的工频电流，閘性电阻盘就变为高电阻，将工频电流限制到很小，很快就被火花间隙所切断，使电力系统恢复正常运行。而閘型避雷器就等待着下一次雷电过电压的来临。

閘型避雷器有以下三种型式：

(1)PBN型避雷器 它的构造简单，由火花间隙和閘性电阻盘所构成。价格较低，其保护作用较差。它的电压等级分3、6、10千伏三种，一般用来保护容量较小的配电装置，如小容量的变电所、配电变压器及杆柱上的油开关等。

(2)PBC型避雷器 它是由火花间隙、并联电阻和閘性电阻盘所组成，保护特性较好。各种电压等级的PBC型避雷器之外型如图7和图8所示(其电压等级有3~220千伏)，它们主要是用来保护中等容量及大容量的配电装置，如一般变电所的母线上就装用这种避雷器来保护。

(3)PBBM型避雷器——它是由火花间隙、并联电阻、并联电容和閘性电阻盘等所组成的，它是保护性能最好的一种閘型避雷器。其电压等级也有3、6、10千伏三种，专门用来保护旋转电机。如直配发电机、调相机和高压电动机等，就应该用这种避雷器来保护。

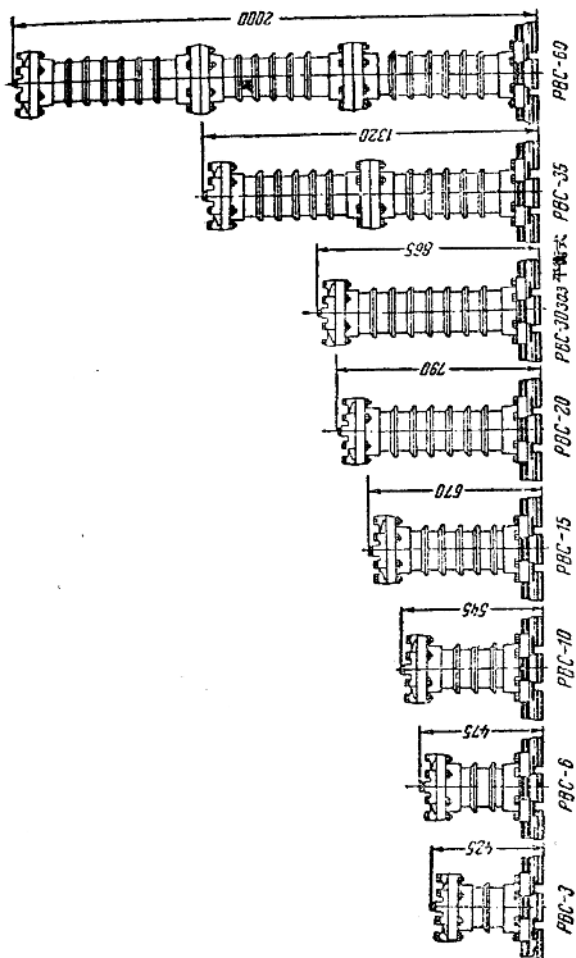


图 7 3~60千伏的PBC型避雷器的外形图

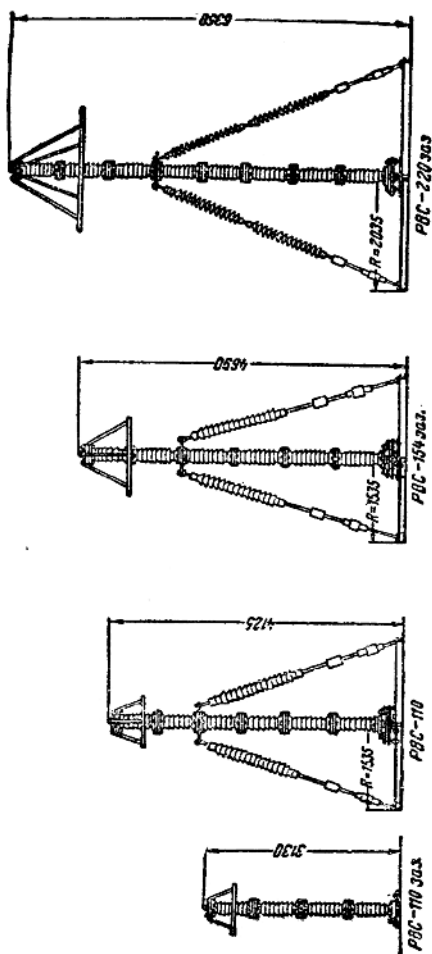


图 8 110~220千伏的PBC型避雷器的外形图

第四节 管型避雷器

管型避雷器由与电弧接触时能产生气体的管子、内部间隙和外部间隙等三部份所组成。管子的材料可以用纖維、有机玻璃或可塑物来做成。内部间隙装在管子的内部，一个为棒形，另一个为环形，图9中 S_1 就是管型避雷器的内部间隙。在管型避雷器和带电的导体之间尚有一个外部间隙 S_2 ，它可以使管型避雷器在正常情况下不承受电压，以防止管子的表面长时间通过洩漏电流而引起燒坏的事故。而雷击时，它的外部间隙 S_2 和内部间隙都相继击穿放电。

管型避雷器的工作原理如下：当线路上遭受冲击过电压时，管型避雷器的外部间隙和内部间隙都很快地被击穿，雷电电流通过接地装置而流入大地。但是，随着雷电电流而来的是电力系统的工频短路电流，这个电流很大，在管子内部间隙之间发生了强烈的电弧，使管子内部的材料燃烧放出大量气体。由于管子内部体积很小，这股气体像爆炸似的向管子的开口端喷出，而使电弧吹熄。这时外部间隙的空气绝缘恢复，使管型避雷器和系统隔开，于是管型避雷器便恢复正常，等待下一次过电压的来临。

由于管型避雷器放电时消弧是依靠电力系统的短路电流在管内产生气体，如果系统的短路电流太大，产生的气体就太多，压力太大，可能使管型避雷器的管子爆炸；如果系统的短路电流很小，所产生的气体就较少，不能达到消弧的目的，可能使管型避雷器长时间通过短路电流而被燒坏。所以管型

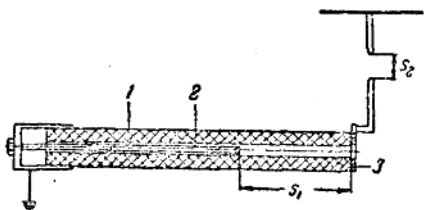


图9 管型避雷器的构造图