

技術知識叢書

# 建築物防雷

戴紹曾 著



上海科學普及出版社

15.6  
17.11

## 內 容 提 要

本書首先說明雷的起因，雷對建築物的各種破壞作用，以及防雷的一般措施；其次，按照各類建築物由於雷害而引起的後果的嚴重程度，提出不同的防雷要求；最後介紹建築物防雷設計的原則和實用數據，特別是對防雷設備如避雷針、避雷綫、接地裝置等的選擇、構造以及計算和接裝的方法，作了具體的說明。同時舉出幾種建築物防雷設計的實例，可以幫助讀者掌握這項設計工作。讀者參考了本書，能夠結合具體情況進行建築物的防雷設計。

這本書是根據我國技術政策和一些經驗，同時參考了好幾種有關建築物防雷問題的蘇聯書籍編寫而成，可以給從事建築物防雷設計的初級技術人員和技工閱讀，對於關心建築物防雷問題的讀者也有參考的價值。

總號：027

## 建築物防雷

著 者： 戴 紹 曾

封面設計： 沙 子 風

出版者： 上海科學普及出版社  
(上海市蕪湖南路475號)

上海市書刊出版業營業許可證出字第085號

發行者： 新華書店上海發行所

印刷者： 上海市印刷五廠  
上海江寧路1110號

開本：787×1092 1/32 印張：2 1/8

字數：45,000 統一書號：T 150128·11

印數：10,000 定 價：2 角

1957年7月第一版 1957年7月第一次印刷

# 目 录

一、雷的起源	3
雷雨云的形成	3
雷雨云的带电和放电	4
二、雷对建筑物的危害	7
雷的破坏作用	7
直接雷的影响	8
感应雷的影响	9
由架空线传来的危险电压	10
接触电压和跨步电压的危险	10
火花是爆炸和起火的根源	11
三、建筑物的一般防雷措施	12
一般防雷设备	12
防直接雷的措施	13
防感应雷的措施	23
防止架空线引进危险电压的措施	24
预防跨步电压和接触电压危险的措施	27
四、各种建筑物对防雷的要求	28
建筑物在防雷要求上的分类	28
第一类建筑物的防雷要求	28

第二类建筑物的防雷要求·····	31
第三类建筑物的防雷要求·····	33
五、怎样设计建筑物的防雷设备·····	34
收集原始资料·····	34
考虑设计原则·····	35
进行具体设计·····	46
注意其它事项·····	54
六、建筑物防雷设备的实例·····	57
第一类建筑物和第三类建筑物共同的防雷设备·····	57
第一类建筑物的架空避雷线·····	60
粮食仓库的防雷设备·····	62
小型金属屋顶建筑物的防雷设备·····	63
小型住宅的防雷设备·····	64
屋顶用导线或金属网防雷·····	65

# 一 雷的起源

## 雷雨云的形成

尽管在夏季晴朗的早晨，蔚藍的天空只飄浮着絲絲的白云，如果天气悶热少风，到了中午，天空中的白云常常会变得象棉花似的一团团堆积起来，逐渐变得越来越厚，而且云塊漸漸变成黑暗，接着上部出現白色而略有散开的模样，这就是雷雨云。它的形成，展开了雷雨的序幕。

雷雨云是潮湿的强烈持久的上升气流运动的结果。这种气流一般是在两种情况下形成的。

在第一种情况下，潮湿的上升气流，是在一定的气团内部产生的。当强烈的日光射到地面上，由于地面情况不同，各个地段温度增高的程度就不一样。譬如河灘附近，經過太阳强烈的照射，沙灘会热得烫脚；树林边就比较凉；而河水却还是温的，比起沙灘和树林来温度要低得多了。接近地面的空气主要是从地面取得热量的，因此沙灘上面的空气要比河流和树林上空的空气热得多。空气受热膨胀，密度跟着减小，也就是說它变輕了，于是比较冷的密度較大的空气，便从河流和树林上流向沙地，把沙灘上的热空气向上排挤；此后，它自己又从沙地得到热量，温度也升高了，又被从河流和树林方面繼續流来的新的冷空气排挤而浮升起来。这样一股股热空气汇合在一起不断上升，河流和树林蒸发出的很多水蒸气，也跟着热空气一起上升，这就形成了潮湿而持久的上升气流。



在第二种情况下，两个温度相差很大的大气团，沿水平方向相向移动，相遇时就形成上升气流。比如在闷热的夏天，突然有强大的冷空气团从北方侵入，因为冷空气较重，所以这个气团就象楔子一般插到原来潮湿的热空气团下面，把热空气挤向上升。

这种潮湿的上升气流，进入比较稀薄的大气层中，就逐渐膨胀而冷却。它带着的水蒸汽到达了饱和点以后，开始凝成水滴，同时放出潜热，使上升气流温度永远比它周围大气的温度来得高，因而它继续地加速飞升。气流飞升得越高，就越稀薄，温度也越低，水汽也就凝结得越快；最初凝成水滴，后来是冰，最后是雪，所以雷雨云的顶部呈现出白色。

### 雷雨云的带电和放电

关于雷雨云为什么会带电的问题，现在有好几种解释，但是都不够完善。最近苏联学者 Я.И. 弗連凱里认为，雷雨云里的水滴在形成的时候，就已经存在着正负两种电荷了。因为气流中的水蒸气要在所谓“凝结核”上凝结，这种凝结核经常是带着正电的尘土微粒，因此在水滴的核里，就已经带有正电。以后，水滴的表面把空气中带着负电的粒子吸引过去，水滴上的正电和负电就互相抵消而处于中和状态。当上升气流超过一定速度（3—8公尺/秒）穿过云层的时候，水滴就容易被冲破，分裂出很细的水沫，同时也把它所带的正负电荷分离开来。带着负电的水沫，因为很轻，被上升气流吹得较高，形成大块雷雨云，带正电的水滴凝结核则落到地面，或聚集在雷雨云的个别部分。这样把水滴所带的正负电荷机械地分开，在雷

雨云的各部分就聚集了大量同极性的电荷。雷雨云里电荷的分

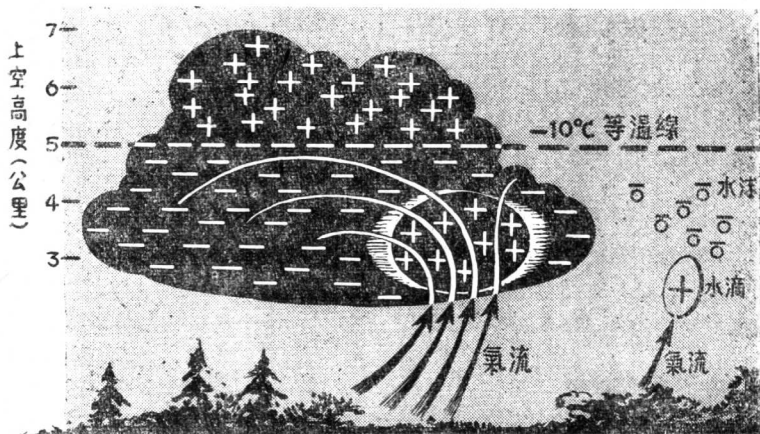


图 1 雷雨云中电荷的分布和气流

布，一般如图 1 所示的那样。从图上可以看出，雷雨云的下部几乎满布着负电荷，正电荷只局限在很小的范围内。可是在  $-10^{\circ}\text{C}$  等温线以上的雷雨云里，都集中了正电荷，这是由于冰块电化的结果（这须用另外一种分开电荷的理论来解释，因为超出本书范围，从略）。

用仪器测量之后，我们知道雷雨云的下部基本上带着负电，地面上由于静电感应，带着正电。雷雨云和地面中间隔着空气，形成一个巨大的蓄电器。这个巨大蓄电器的电场强度，平均起来，虽然很少超过每公尺 100 千伏，但是有些个别部分的电荷密度却是很大的，有时会超过每公尺 2500—3000 千伏，这叫做临界值，这时空气的绝缘就会被破坏，雷雨云就开始向

临近区域或向地面放电。

放电的第一阶段叫做先驱放电，从雷雨云发出不大亮的闪电通路，象树枝的形状向下移动。同时从大地或者高的建筑物发出反先驱放电，在离地面一定高度上，和从云端下降的闪电通路相遇，才开始我们肉眼看得见的主放电。有时没有反先驱放电，而在先驱放电到达大地后发生主放电。在主放电的过程中，聚集在先驱放电通路上和地面上或高建筑物上的电荷，就发生猛烈的中和，同时产生强烈的闪光、轰轰的雷鸣和大量电流。这种电流叫做雷电流。它通过雷道（即放电通路）和被雷击中的物体，在通过的地方引起高电压。

如果主放电的发展速度是每秒  $V$  公尺，雷道内电荷的密度是每公尺  $q$  库伦（电荷量的单位），那末雷电流  $I$  可用下列关系表示：

$$I = Vq \cdot \text{安培} \dots \dots \dots (1)$$

因为主放电的速度大约是光速的  $\frac{1}{5} \sim \frac{1}{3}$ ，即每秒 6,000—10,000 万公尺，放电的总电荷一般介乎 1—5 库伦之间，所以雷电流很高，能达到几万安培，甚至几十万安培；这就是雷电的重要参数之一。但雷电流的持续时间，一般是很短促的，大约是 50—100 微秒（1 微秒等于百万分之一秒）。雷电流的增殖速度（通常叫做陡度），也是雷电的另一个重要参数。如果两个雷电流的最高值（通常叫做幅值）一样，那末，达到这个幅值的时间越短，雷的破坏力越大。幸而幅值大、陡度高的雷电流通常是很少遇到的。

根据一万多次测量的结果证明，平原地区雷电流的幅值，85% 的场合小于 50 千安（1 千安等于 1000 安培），超过 100 千



安的只有 2.8%，超过200千安的只有0.1%。在山岳地区因为岩石多，大地的导电性能比平原差；当先驱放电到达地面时，地面的电荷密度不高，因而主放电中的电流也较低，只有 5% 的场合超过 40 千安。测量的数字指出，雷电流的最高陡度超过每微秒25千安的只有10%，一般不超过每微秒50千安。

上面講到的云塊和地面之間的放电，只是雷雨云放电方式的一种，它也可以在云里放电，也可以在相鄰的云塊之間放电。但是我們最关心的是云和大地間的放电，也就是落雷，因为在极大多数的场合下，这种雷会損害我們的电气設備、建筑物和人畜。

## 二 雷对建筑物的危害

### 雷的破坏作用

雷电会引起电磁、热、机械和靜电的作用。

跟着主放电产生的电磁場，在雷击区附近的导綫或导电的結構上产生感应电压。輸电綫路上发生的感应电压能够达到几百千伏，可以使額定电压35千伏以下电气設備的絕緣閃絡。

雷电流通过导体时发生巨大的热量。因为它的过程很短，热量来不及发散到四週介質中去，因此，雷电流能把它所經過的导体热到赤热、溶解或汽化的温度。例如波長40微秒、幅值200千安的雷电流，能把截面10平方公厘的鋁綫热到发紅。

雷电流会劈裂树木、电桿及房屋，这是它的机械作用。輸电綫路上的木电桿和木橫担被雷劈裂的事故是常見的。劈裂

的机械过程是这样的：雷电流沿着木质纖維流过，使它发高热，因而引起其中水分的剧烈汽化，犹如爆炸一般。从木柱劈开的木片可达几公尺长；偶然还会把整个木柱劈倒。

因为静电的作用，磚石砌的烟囱或磚墙也常常被雷击倒。因为在雷雨时电场很强，烟囱上的每一塊磚石都帶了同极性的电荷，放电以后，电场突然消失，遺留在磚石上的同极性电荷之間，就产生互相排斥的静电力，这些力量有冲击的特性，容易使磚石建筑物震裂。曾經有一个磚烟囱，上部30公尺完全被震碎，部分碎片飞到 300 公尺以外的地方。

### 直接雷的影响

如果先驅放电通路或通路中的一个支路，接触到建筑物的頂部或凸出部分，那末，主放电就从这建筑物开始；也就是說，雷直接击中了这座建筑物，雷电流从雷道沿着建筑物里最容易通过的通路流入大地。这个通路按照不同的情况，可以由屋頂、牆壁、屋內外的金屬構件、树木、气体或液体的介質和接地的物体等所組成。大的雷电流通过时，能融化金屬，劈裂木材，震裂磚石建筑。雷电流  $I$  通过流散电阻（見第三章第一节）是  $R$  的接地物体的瞬間，在这电阻上产生电压降  $IR$ ，由于雷电流值很大，电压降  $IR$  能达到几百甚至几千千伏。同时，雷电流通过有电感的物体，由于雷电流的陡度很高，即使电感很小，电感中的电压降也是很大的。电阻和电感中的电压降和雷电流的电磁場所感应的电压綜合起来，导致所謂直接雷的过电压。直接雷的过电压能破坏介質的絕緣，发生火花，引起燃燒、爆炸，或閃絡通过人体。

## 感应雷的影响

感应雷是指建筑物内部发生的雷电现象而言。它是由于离建筑物某些距离处的落雷所引起的电磁场作用的结果。

感应雷一般可分为静电感应和电磁感应两种。

(一) 静电感应——雷雨云下面的建筑物，由于云中电荷的感应作用，建筑物的顶部陆续聚集了极性相反的电荷，同极性的电荷逐渐从这建筑物排入大地，结果在屋顶上残留着相反极性的电荷，成为所谓“束缚电荷”。假定先驱放电开始之前，雷雨云带着的是负电荷，那末，建筑物顶部所积聚的是正电荷。这个正电荷跟着先驱放电向地面进展的过程而逐渐增加。因为先驱放电发展较慢，由正负电荷共同作用于屋顶而产生的电位较小。但当主放电开始后，雷道中的电荷迅速中和，原来束缚在屋顶的电荷却来不及跟着雷道中电荷的消灭而向地中流散，特别是当建筑物的接地电阻和电容很大时，流散得更慢，因此屋顶的电位急剧增长。假如雷击处距离屋顶约 100 公尺，房屋的接地电阻是几十欧，静电感应所产生的屋顶电位可达到几万伏。这样的高电位虽然存在的时间极短，只能用微秒来计算，但是如果沒有适当的防护措施，这种电位还是可以在屋内引起火花的。

(二) 电磁感应——当保护建筑物的避雷针受到雷击时，大量雷电流沿着引下线流入大地，发生迅速变化的强烈磁场。这个磁场能在附近金属环路的缺口处产生足以引起火花的电位差。

### 由架空綫傳來的危險电压

电力、照明、电訊、信号等各种架空綫，都会把危险的过电压引到屋里。架空綫上为什么会有过电压呢？第一种原因是架空綫路本身直接受到雷击，或者导綫接触到被雷击中的树干或接近帶着雷电流的引下綫、排水管等，部分雷电流傳到了綫路上。另一种原因是：由于附近雷电放电的影响，在导綫上产生感应过电压，正如上面所說的房屋受到感应雷的情况一样。原来由于上空雷雨云的静电感应而束縛在导綫上的电荷，經過雷雨云的主放电，得到解放成为自由电荷，按照光速以高电压沿綫路向前傳播。距离雷击处几十公尺的輸电綫上，产生的感应电位的幅值，可以达到 300 千伏；在漏電較大的配电綫上也能达到 100 千伏。架空綫路上的过电压，如果不能在中途击穿綫路絕緣使电荷向大地流散，势必沿着导綫行进，侵襲房屋，在屋內絕緣較弱的地方引起閃絡。上海去年有一次雷击时电車中发生伤人事故，就是过电压从电綫引入車中，发生閃絡使空气受热突然膨脹所造成。

### 接触电压和跨步电压的危險

人接触到雷电流經過的地方，接触到受雷电流感应作用的金屬構件时所受到的电压，叫做接触电压。譬如人站在地面上，手碰到帶着雷电流的引下綫，他所受到的接触电压就是这引下綫和大地間的电位差。假如这个电位差是  $U_3$  伏，由人体到大地的过渡电阻是  $R$  欧，人体电阻是  $r_{\text{人}}$  欧，那末

$$\text{接触电压 } U_{\text{np}} = \frac{U_3}{1 + \frac{R}{r_{\text{人}}}} \dots\dots\dots (2)$$

人到地的过渡电阻，决定于土壤电阻率  $\rho$  和人站立的态度，脚步分开站着的人的过渡电阻，约为土壤电阻率的1.56倍，两脚并拢时约为2.2倍，可以取平均数1.8倍。如果人体电阻是1,500欧，土壤电阻率1,000欧公分，根据上式，可以得出接触电压大约等于引下綫对地面电压的一半。雷击时接触电压可以大到几万伏至几十万伏，对人是非常危险的。

当雷电流经过接地装置（见第三章第一节）向大地流散时，接地装置附近引起的电位是分布得不均匀的。这个时候，假使有人畜在这接地装置附近走动，前脚和后脚受到的电压相差很大。两脚之间的电压差就叫做跨步电压。雷电流越强，土壤电阻率越高，跨步的长度越大（人一步的长度大约是0.8公尺），越走近接地装置，跨步电压对人畜的危险性就越严重。

在考虑建筑物的防雷问题时，必须设法减低接触电压和跨步电压的危险性。

### 火花是爆炸和起火的根源

建筑物受到雷击，雷电流沿金属构件流下时，如果各个构件中间的金屬连接不牢，那时，构件的接触处或接近处就会有火花发生。如果带着雷电流的引下綫靠近长的金属构件，也会在这些构件的缺口处引起火花，甚至在引下綫和构件之间发生电弧。

电火花的温度，比可燃物质燃烧的温度高得多。即使在很小范围内发生电火花，散出来的热量也比使混合物（例如空气和硫化氢的混合物）燃烧和爆炸的能量大数百倍到数千倍，因此，有这些混合物的建筑物如果受到雷击，就很容易引起火灾。如果建筑物内有一定浓度的烟灰或粉末，例如每立方公尺

空气中含有20—30克的麦粉或木屑，在雷雨时也会发生爆炸。在制造或保存炸药的工厂中，在直接靠近这种炸药的金屬構件之間发生火花，就会引起爆炸。

## 三 建筑物的一般防雷措施

### 一般防雷設備

在談到建筑物的防雷措施以前，讓我們先說明一下防雷設備。

一般防雷設備包括雷电接受器、引下綫和接地裝置。

(一) 雷电接受器——雷电接受器一般裝在建筑物上，或者单独地裝在建筑物附近，但比建筑物的頂部高；它的主要作用是將先驅放电的通路轉移到它本身，不經過被保护的設備，使雷电流沿着准备好的通路泄入大地。

(二) 引綫——引綫是裝在屋頂、牆壁或支柱上的导綫，它把雷电接受器和接地裝置連接起来，使雷电流从接受器引入大地。引綫包括三个部分：

1. 裝在屋頂上的导綫——也可以用作雷电接受器；
2. 沿着牆壁敷設的引下綫——有主要的和輔助的两种：主要引下綫用来傳导雷电流的主流，这根导綫應該有足够的金屬截面和妥善的連接；輔助引下綫只傳导部分雷电流，要求比較低，例如小截面的导綫或連接可靠的金屬排水管，都可以用来做輔助引下綫；
3. 連結的导綫——把能够傳导电流的設備、房屋內外的金



屬部件和引綫互相連接起來。

**(三) 接地裝置**——包括接地綫和接地體，用來使雷電流散入大地。

1. 接地綫——連結引下綫和接地體，它和引下綫的接頭可以隨時拆開，以便測量接地電阻，所以這個接頭可以叫做“活接頭”。

2. 接地體——埋在土里和土壤接觸的金屬零件，象金屬棒和管子；埋在土里和接地體連接的裸導綫，也可以認為是接地體的一部分。

接地裝置和20公尺以外土壤之間的電阻叫做流散電阻。流散電阻和接地綫電阻之和叫做接地電阻。在防雷設備中，流散電阻和接地電阻的差別通常是微不足道的，因此基本上這兩種電阻可以認為是一樣的。

### 防直接雷的措施

保護建築物不受直接雷擊的雷電接受器，可分為避雷針和架空避雷綫兩種。

**(一) 避雷針**——避雷針的保護作用，發生在雷電放電的先驅階段。當先驅放電開始從雲端向大地發展時，它行進的途徑不受地面物體的影響；但是當先驅通路接近地面時，假如地面上有着高聳的象避雷針之類的接地物體，那末，先驅通路和這個高的接地物體的距離比它離開地面要近得多；當時這個接地物體的電位和地面的電位是一樣的，因此，先驅通路和這個接地物體間每單位長度的電位差（叫做電位梯度），比之先驅通路和大地間的電位梯度來得大；電位梯度越大，空氣絕緣也就

越容易破坏，于是放电的路徑就朝着高的接地物体延伸。这说明避雷針是把雷电吸引过去的，这样就显著地减少雷电向附近建筑物放电的可能。

避雷針下面有一个绝对安全的空间，叫做避雷針的保护范围。如果建筑物的各部分都在这保护范围之内，那末，就可以避免受到直接雷击。

为一座建筑物按装的避雷針的数目，有单支、双支和多支三种。

1. 单支避雷針——它的保护范围好象一顶圆锥形的帐篷，把被保护的物体罩在里面。这种保护范围的各个水平断面都是圆形，它们的半径按照它们离地面的高度而变化，下式表示它们的关系。

$$r_x = h_a \frac{1.6}{1 + \frac{h_x}{h}} p \dots\dots\dots(3)$$

式中  $h$  是避雷針的高度； $h_x$  是建筑物的高度； $h_a$  是避雷針超出建筑物顶部的高度，也叫做避雷針的有效高度，等于  $h - h_x$ ；

$r_x$  就是相应于  $h_x$  高度的水平断面的半径； $p$  是一个系数，当避雷針高度小于或等于30公尺时，它等于1，大于30公尺时

$$p = \frac{5.5}{\sqrt{h}} \text{ (见图2) }。$$

例如有一所高10公尺、长30公尺的建筑物，它的一侧离开78公尺高的烟

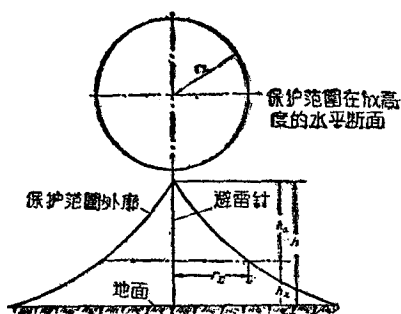


图2 单支避雷針的保护范围

囱20公尺(见图3),在这  
 烟囱頂上裝一支2.0公  
 尺長的避雷針,那末, $h$   
 $= 80$ 公尺, $h_a = 80 - 10 =$   
 $70$ 公尺, $p = \frac{5.5}{\sqrt{80}}$ ,在10  
 公尺高的水平面上的保  
 护半徑 $r_x = 70 \times \frac{1.6}{1 + \frac{10}{80}}$

$\times \frac{5.5}{\sqrt{80}} = 60$ 公尺,由此

可見这座建筑物  
 完全处于避雷針  
 的保护範圍內。

2. 双支避雷  
 針——狹長的建  
 筑物不宜用太高  
 的單支避雷針保  
 护,这时,可以  
 用两支較低的避  
 雷針来保护。双  
 支避雷針的保护  
 範圍象图4所表  
 示的那样。每支  
 避雷針外側的保  
 护範圍和單支避

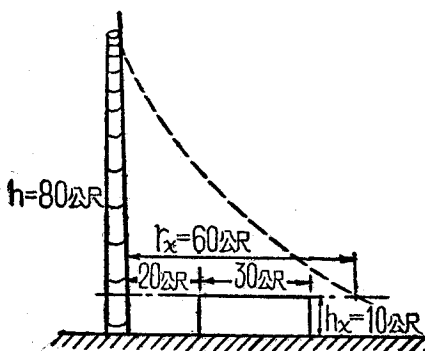


图3 烟囱上避雷針对附近建筑物的保护

保护範圍在 $h_x$   
 高度的水平断面

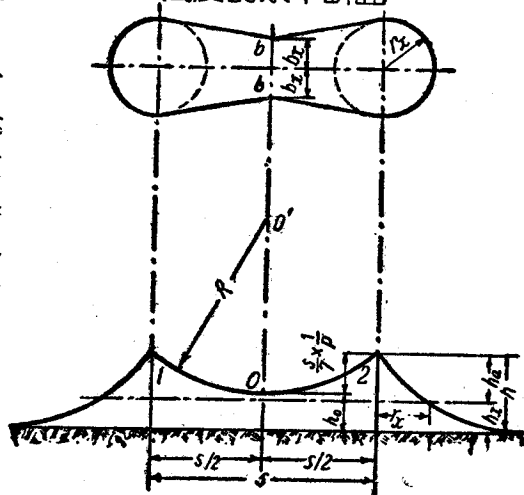


图4 等高双支避雷針的保护範圍