

苏联 麦·維·科斯基柯著

# 大气过电压 和高压设备的防雷保护

下 册

电力工业出版社



# 大 气 过 电 压 和 高 压 設 备 的 防 雷 保 护

下 册

苏联 麦·維·科斯琴柯著  
王繼先 李阜正譯 黃長敬校

电 力 工 業 出 版 社

## 內 容 提 要

本書下冊由第二篇（高压設備的防雷保护）和附录組成，其主要內容如下：

第二篇叙述大气过电压的發生原因，雷和閃電的形成过程；研究輸电綫路的防雷保护方法，变压器及迴轉电机的防雷保护，接地裝置和避雷器的作用等。

附录介紹运算微积的基本原理和它在电工学上的应用等。

本書可供从事于防雷保护工作的电力工程人員之用。

М. В. КОСТЕНКО

АТМОСФЕРНЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ И ГРОЗОЗАЩИТА

ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ УСТАНОВОК

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ ЛЕНИНГРАД 1949

大气过电压和高压設備的防雷保护 下 册

根据苏联国立动力出版社1949年列行格勒版翻譯

王繼光 李卓正譯 黃長敬校

\*

512D190

电力工業出版社出版（北京前右街26号）

北京市書刊出版業營業許可證出字第082号

北京市印刷一厂排印

新华書店發行

\*

850×1168 $\frac{1}{2}$ 开本 \* 55印張 \* 152千字 \* 定价(第10类)1.00元

1957年4月北京第1版

1957年4月北京第1次印刷(0001—3,600册)

统一书号:15036·443

定价 1.00 元

# 目 录

## 第二篇 高压设备的防雷保护

|                                            |    |
|--------------------------------------------|----|
| 第八章 大气过电压的发生                               | 3  |
| 第23节 雷和雷电的形成                               | 4  |
| 1. 雷的形成                                    | 4  |
| 2. 大气电                                     | 5  |
| 3. 雷电                                      | 9  |
| 第24节 大气过电压和雷电参数                            | 11 |
| 第25节 直接雷击的保护                               | 17 |
| 1. 避雷针线                                    | 18 |
| 2. 保护范围                                    | 20 |
| 3. 雷电穿越或然率                                 | 25 |
| 第九章 输电线路的防雷保护                              | 27 |
| 第26节 耐雷水平与耐雷指标                             | 27 |
| 第27节 有避雷线保护的输电线路                           | 34 |
| 1. 穿过避雷线雷击导线                               | 34 |
| 2. 雷击杆顶                                    | 35 |
| 3. 雷击在避雷线的杆距中间                             | 39 |
| 第28节 充分利用木质绝缘的线路                           | 43 |
| 第29节 利用消弧线圈的保护作用                           | 49 |
| 1. 用消弧线圈的铁塔线路保护                            | 49 |
| 2. 用两个保护间隙( $2 \times \Pi 3$ )及消弧线圈的木杆线路保护 | 53 |
| 3. 用三个保护间隙( $3 \times \Pi 3$ )及消弧线圈的木杆线路保护 | 56 |
| 第30节 线路自动重合闸(АПВ)的保护作用                     | 56 |
| 第31节 用管型避雷器的线路保护                           | 58 |
| 1. 在杆塔上用三个管型避雷器的线路保护                       | 59 |
| 2. 在杆塔上用二个管型避雷器的线路保护                       | 60 |
| 第32节 综合的线路防雷方式                             | 60 |

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 第十章 变电所的防雷保护 .....                | 64  |
| 第 33 节 变电所直接雷击的保护 .....           | 64  |
| 第 34 节 变电所对进行波的保护方式 .....         | 68  |
| 1. 35—220 千伏变电所防雷保护的标准結綫 .....    | 70  |
| 2. 35—220 千伏变电所的非标准保护結綫 .....     | 71  |
| 3. 3—10 千伏变电所的保护 .....            | 73  |
| 第 35 节 变电所的等值电路及其計算 .....         | 74  |
| 1. 等值电路的拟制及其参数的选择 .....           | 74  |
| 2. 等值电路各点上的过电压的計算 .....           | 77  |
| 第 36 节 变电所防雷保护方式的选择及其可靠性的鑑別 ..... | 87  |
| 1. 变电所本身保护的选择 .....               | 88  |
| 2. 被保护的进綫长度的选择 .....              | 91  |
| 3. 进綫保护的选择 .....                  | 92  |
| 第十一章 变压器及迴轉电机的防雷保护 .....          | 93  |
| 第 37 节 变压器綫卷的防雷保护 .....           | 93  |
| 第 38 节 迴轉电机防雷保护的基础 .....          | 98  |
| 第 39 节 直接与架空綫路連接的电机的防雷保护方式 .....  | 103 |
| 1. 架空进綫 .....                     | 103 |
| 2. 饋电电抗器 .....                    | 109 |
| 3. 电綫进綫 .....                     | 109 |
| 4. 直接連接于架空綫路上的高压电动机的保护 .....      | 111 |
| 5. 防止感应过电压的电机保护 .....             | 113 |
| 第十二章 接地裝置和避雷器 .....               | 114 |
| 第 40 节 冲击时的接地裝置电阻 .....           | 114 |
| 第 41 节 避雷器 .....                  | 120 |
| 1. 管型避雷器 .....                    | 121 |
| 2. 閘型避雷器 .....                    | 122 |
| 3. 統一类型的威利脫型避雷器 PBC .....         | 124 |
| 附录 .....                          | 125 |
| 参考文献 .....                        | 182 |

## 第二篇 高压设备的防雷保护

### 第八章 大气过电压的發生

雷电，即集中在雷云中的大气电荷的放电现象，是众所公認属于最巨大和最有声有色的宇宙现象之列。据初步统计，在地球表面每秒約落 100 余个雷。雷电可伤及人身。由于雷电引起的失火或损伤建筑物給国民經济带来大量的損失。对高压设备来说，雷击的危險很大：輸电綫由于自身延伸很广，常常遭受雷击，而此时所生的过电压超过所有其他过电压。

雷电荷的放电問題，在远古时期就已经有人研究。譬如說，埃及祭司为了“窃取天火”，曾采用包以銅皮的高桿塔。雷雨放电的科学研究是于十八世紀中叶，由苏联学者 M. B. 罗蒙諾索夫和 Д. B. 礼和曼以及富蘭克林和达尼巴尔的工作开始的。在这些工作中曾經实验証明，雷电是大气中發生的电的现象，且曾提出用高而銳利的鉄桿防止雷击。

礼和曼为了研究雷电现象，首先应用了静电計型的测量仪器，而在 1753 年雷雨时，进行测量中，由于强烈的雷电落于他的装置上而惨遭牺牲了。罗蒙諾索夫研究了雷云形成的原理和在雷云中的电荷。

近数十年，因为高压电網和無綫电的高度發展，对大气电和雷雨放电的研究，引起了極大的注意，并对人工“雷电”——長火花也进行了研究。

研究結果，詳細敘述于一系列的論文里[文献 53, 54, 55 等]。这里我們主要論及的問題是高电压设备絕緣上發生大气过电压直接有关的各問題，和对于送电綫与变电所防雷保护的可靠性上發生重大影响的各問題。

## 第 23 节 雷和雷电的形成

形成雷云和雷电的第一个科学理論是由罗蒙諾索夫在論文“論由电力發生的空中現象”一文中提出来的[文献 56, 106 頁]。依照这个理論云是由于空气在垂直方向迅速移动，將其中水分冷凝的結果而成的。依照罗蒙諾索夫的理论，大气电的形成是由于上升的和下降的气流中水蒸汽摩擦的結果。罗蒙諾索夫認為雷电就是在雷云内形成的大量电荷对大地的放电。罗蒙諾索夫的理论基本上是与近代的观点相合的。

**1. 雷的形成** 雷可区分为三种：热雷，正面雷和冬季雷，但最普遍的是热雷和正面雷。它們几乎仅發生于每年夏季月分，即所謂“雷季”，雷季在苏联大部分地区系从四月到十月。冬季雷的發生極為稀少，且不是所有地区均有。

**热雷**是發生于極小地区的局部現象，它系由于临近地面的热空气，在一定的地势和大气的条件下迅速向高的冷空气層移动时形成的(圖 59, 4)。其中包含的水分發生凝結且析出潛热因而保持上升热空气与周圍冷空气的温度差和比重差，此时發生上升空气急流。通常热雷發生在下午。

**正面雷**是在不同温度的大团空气互撞时形成的。通常这种雷在天气变化时發生，并且包括相当大的区域。在冷空气波的正面向，热空气被排挤而上升，冷却而成雷云并發生旋風运动(圖 59, 6)。

正面雷可以蔓延到很多公里，比热雷的發生時間較長，且对高压设备危害極大。正面雷与热雷的混合雷也是时常有的。

**冬季雷**是很稀少而且是短时的現象，然有强烈放电的特性。

雷电活动强度(интенсивность грозовой деятельности)对高压设备的防雷保护，有極重要的关系。目前，这强度是以年平均雷电日来表示的，即在某气象台听得到雷的平均日数。这自然远不能够充分地表明雷的活动，因为此时在一个雷电日内怎样也不

能計算到雷的放电强度和一日內的次數，而這次數可能由于雷的强度和雷的延佈、地勢和其他一系列的條件，有極劇烈的變動。此外還要判斷是近處雷或遠處雷，雷雨日或非雷雨日等等的偶然情況。但作為近似的估計，經證明尚屬正確，且可按地域分為強雷區、中雷區和弱雷區。

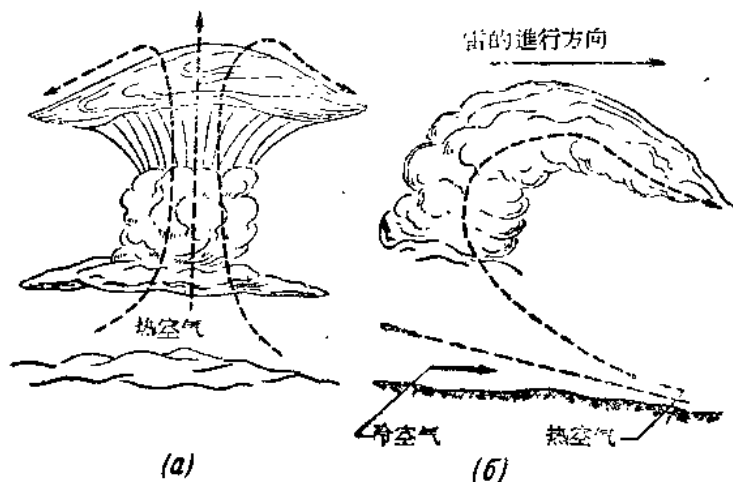


圖 59 雷的發生  
a) 熱雷; b) 正面雷。

雷在地面上的分佈極不平均，雷最多的地區是赤道地帶；例如在爪哇島地區平均每年有 220 個雷电日，在非洲中部每年有 150 個雷电日。

在溫帶的國家里雷較少，但在这里的個別有限地區也是有極大的雷电日數的。

**2. 大氣電** 大地及其周圍大氣的正常帶電狀態可在無風和無云的天气下觀察出來。經多次測量，臨近地面的“晴天電場”平均值為  $E_0 = -130$  伏/公尺，幾與季節和時間無關，並在地面上不同的各點上，大致相同。根據高斯定理，這電場相當於所有地面上的經常不變的負電荷：

$$q = \epsilon_0 \int_s \vec{E}_0 \cdot d\vec{s} = \epsilon_0 E_0 4\pi R^2$$

$$= \frac{130 \times 4\pi \times 6.37^2 \times 10^{12}}{36\pi \times 10^9} = 6 \times 10^5 \text{ 庫倫},$$

因为  $\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi \times 10^9} [\phi/M]$ , 地球半徑  $R=6370$  公里。

地面上層的体积电阻率由于土壤的成分和水分的不同为  $10 \sim 1000$  欧姆·公尺 (平均 100 欧姆·公尺), 海水——約 1 欧姆·公尺。靠近地面的空 (具有極高的电阻率  $\rho_0 \approx 5 \times 10^{18}$  欧姆·公尺, 然而当离地面高度增大时, 它开始慢慢地, 然后越来越快地減低。在离地面高度約 80 公里时 (遊离層), 空气的电阻率約为 10 欧姆·公尺。此时地面和遊离層表面彷彿是帶有电位差  $U_0$  約 200 仟伏的兩個巨大球形电容器的極面, 并且地面帶有負的电荷。

由于存在着电場和空气的傳导, 这电容器兩極面之間有电流通过, 电流密度为

$$j_0 = -\frac{E_0}{\rho_0} = -\frac{130}{5 \times 10^{18}} = -2.6 \times 10^{-12} \text{ 安/公尺}^2,$$

整个地面的全部电流  $I_0 \approx 1300$  安。“晴天电場”的發電总容量  $P_0 = I_0 U_0 = 2 \cdot 10^5 \times 1.3 \times 10^8 = 260$  千瓩。

在高压设备上, “晴天电場”不引起任何显著的过电压, 但是在雷云电荷的形成上它却起了重要的作用。为了闡明地球藏有电荷, 提出了許多的理論 [文献 57], 同时雷电入地大多数具有負極性, 这对闡明地球藏有电荷也起了重要的作用。

雷电現象破坏了正常的大气电气状态, 構成当地体积的陽电荷和陰电荷的大量集中, 具有大梯度的电場和数千万伏的电位差。

为了闡明在雷云內电荷的形成和聚集过程, 已在 Н. С. 斯吉克尼柯夫 [文献 53, 54], М. А. 巴克和 Н. Н. 尼古拉耶夫斯卡娅 [文献 55] 等等的著作里提出了許多理論 “点滴分裂” (即水滴分裂) 和 “影响及选择冲撞” 的理論最为普及。現在簡要地述明在下面。但是無論是这些理論也好, 或者是其他的理論也好, 总是与試驗結果有某些矛盾的。显然, 云內电荷構成的实际过程是在一

系列的矛盾因素的影响下发展起来的，并且由于当地的条件，其中某些因素是占优势的。

云内电荷构成的理论

表 8

| 理论名称、<br>年代和作者              | 带电过程                       | 引起带电的原因                      | 云内电荷<br>的分佈 |
|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------|
| “摩擦”論(1753)<br>M. B. 罗蒙諾索夫  | 上升气流中蒸汽<br>部分的摩擦           | 上升气流, 重力,<br>摩擦力             |             |
| “影响”論(1885)<br>艾尔斯吉和盖吉尔     | 極化点滴的冲撞                    | 上升气流, 重力,<br>晴天电场            | 峯尖+<br>根基-  |
| “点滴分裂”論<br>(1909)<br>西姆生    | 雨点分裂                       | 上升气流,<br>重力                  | 峯尖+<br>根基+  |
| “影响及選擇冲撞”<br>論(1921)<br>威尔遜 | 極化点滴与空气<br>陰离子的選擇冲撞        | 上升气流, 重力,<br>晴天电场,<br>空气离子电荷 | 峯尖+<br>根基-  |
| “蒸發和凝結”論<br>(1935)<br>供恩    | 蒸發和凝結时点<br>滴的帶电            | 温度差和压力差,<br>上升气流, 重力         | 峯尖+<br>根基-  |
| “光效应”論(1935)<br>道兹尔         | 干冰的光效应                     | 日光紫外綫, 上<br>升气流, 温度差,<br>重力  | 峯尖+<br>根基-  |
| “动平衡”論(1946)<br>Я. И. 福倫盖尔  | 帶陽电荷空气与<br>帶陰电荷水滴的相<br>互作用 | 上升气流,<br>重力                  | 峯尖+<br>根基-  |

“点滴分裂”論是以林納尔特(Ленард)效应为根据的(当点滴分裂时, 其主要部分帶陽电, 而輕的脱离部分帶陰电)。在有大的空气速度垂直分量的  $B$  区域内(圖 60)产生水滴分裂, 同时陰电的輕飞沫借風力帶向上去(圖 60  $A$  区域), 而陽电的重点滴就構成帶有陽电荷的  $B$  区域。最大的集中电荷是在  $B$  区域内, 从这里应有陽極性雷击。“点滴分裂”論曾获得广泛的流行, 但是与試驗事实相矛盾, 在平原地区大多数雷电放电具有陰極性。

“影响及选择冲撞”論假設水点因“晴天电场”而極化，并且下面的陽电荷部分当水点下降时吸引空气的自由陰离子并排斥空气的自由陽离子。此时水点的总电荷将是陰电荷并促使随后下降的水滴更加帶电。但这种理論不能說明云中陽电荷的局部集中和陽極性雷电放电。

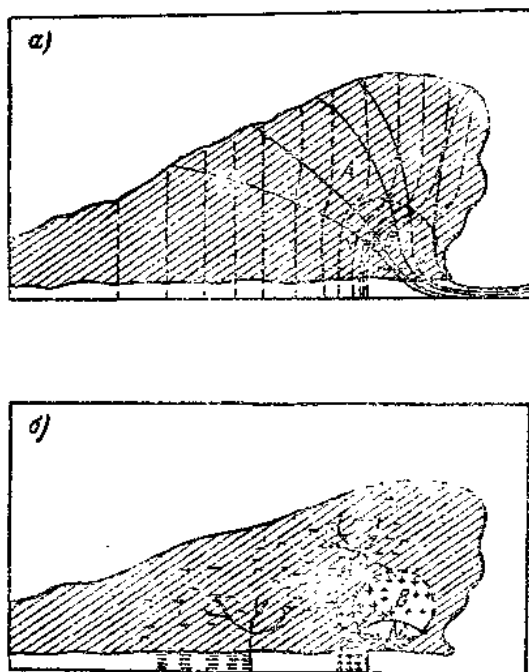


圖 60 雷云中电荷構成圖

a) 構成雷云的气象条件；b) 依照“点滴分裂”論在云及雨內电荷的分佈。

- 热气流綫；
- - - 雨点下降方向；
- 水点分裂区域；

A—陰电荷区域；B—具有集中陽电荷的雷电中心。

大气电形成的原始理論是由 Я. И. 福倫盖尔 [文献 58] 提出的。照此理論，大气电场發生器就是云及其帶陰电荷的雨点或冰

点，这些雨点或冰点在周圍帶陽電的空气中由于重力作用而向下降落。这种現象伴随着在云的上層邊緣和下層邊緣連接不断的陰陽電荷的分离，以及由于通过地表面的电流而致的不断的電荷消失。但因缺乏足够数据，暫难断定这种理論的正确性。

**3. 雷电** 雷电放电可能有各种不同的外形。介于云与地面或云与云間，放电的形狀为狭窄的光亮条帶称为“綫狀雷”。綫狀雷具有許多变形：如帶狀雷（几个平行帶）和分支雷等等。**球狀雷**——發亮光的可动凸面体，其出沒原因尚不明，是一个特別缺乏研究的現象。**無声放电**（**爱尔馬望火**等等）是由于落雷时强大電場在接地凸出部分产生的。

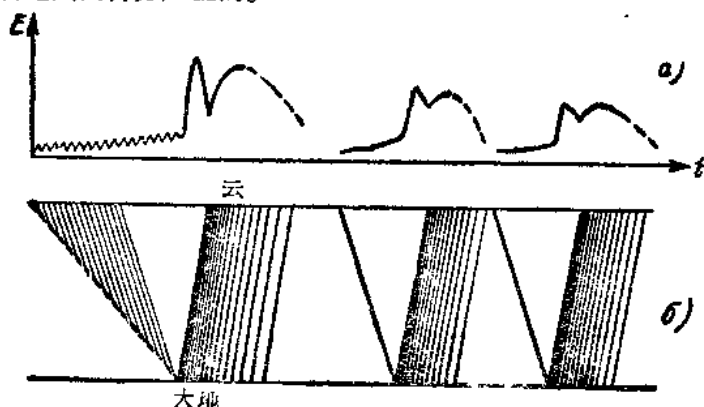


圖 61 雷电多次放电典型發光圖

a) 地面電場強度波形圖；b) 当膠片由右向左时在博依斯摄影机內的雷电照像。

綫狀雷是最常遇到的而且引起最危險的大气过电压。其余型的放电比較不常遇到，就不在这里来研究了。

在 30 年代，广泛地使用博依斯摄影机（有特殊裝置的照像机裝有物体迅速移动的摄影膠片）和記錄高周波电流的陰極示波器 [文献 53—55] 之后，就热烈地展开了雷电物理性質的研究。根据苏联的 B. C. 考密尔柯夫，B. A. 拉姆登，И. C. 斯吉哥尔尼柯夫等人，非洲的生命特，美国的馬契克朗那等人的研究，說明雷电的發展在大多数情况下是按照圖 61 进行的。通常雷电系由一

系列的短時間放电所組成，在放电中間有相當大的間隔几至無电流。

很显然，这是因为雷云是完全的絕緣体。其中几無自由离子，而新構成的离子和电子迅速地被水点所吸收，消失了自身的活动，并形成極小可动性的体积电荷。假若某些部分云层向大地放电，則依靠云內部分放电的發展，空气的运动等等恢复电荷，是需要相當長時間的。

每个单独的放电系由前驅放电过程或先导过程和主放电所構成。

初放电的前驅放电过程，照例是按逐級击穿(先导)發展，且由一系列的部分击穿所組成，这些部分击穿是自云到地逐步相繼击穿和使大气層遊离的。在構成击穿的雷道極為接近地面时，从某一凸出的接地物体，可構成自地面向雷云的迎面雷道。在从雷云来的雷道到达地面后，或从雷云和自地面而来的雷道相遇时，产生从地面到雷云的主放电。初放电大都是陰極性，而且雷电流常为最大波峯值。

相隨的前驅放电过程，通常系按从雷云到地面的方向連續發展的一个击穿雷道(連續击穿)所組成，此后即从地面到雷云發生主放电。然而，它們之間有大的間隔时，相隨的前驅放电过程也可由許多的逐級部分击穿所組成。相隨的放电極性大部是陰極性，但也时常測出陽極性来。H. C. 斯吉哥尔尼柯夫的研究指出，初放电的前驅放电过程，同样能够由一个連續發展的击穿雷道所組成。

研究雷电發展的个人阶段，是以靜止的和迅速移动的膠片(博依斯攝影机)同时照像的方法进行的。

知道雷电距离和博依斯攝影机中膠片移动速度及映像移位的大小，可求出放电个别部分的前进速度：逐級击穿的有效發展速度約为 1000 公里/秒，連續击穿——10 000 公里/秒，主放电——50 000—150 000 公里/秒。

博依斯攝影机的雷电照像和同一時間的临近地面的电場强度

波形圖指出，击穿的各級伴隨有電場脈動。在同時間攝得的電流波形圖上顯示出在击穿前已有不大的電流存在。主放電發展開始之後通過被擊目的物的電流急遽增強，可達到幾萬安培，隨後逐漸地減弱，經過 10—100 微秒之後，差不多完全停止。

經研究確定，大氣過電壓的值以主放電的電流決定之，至於前驅放電過程則影響落雷地點和設備的損壞。

此外，曾發現另外一種雷電形式——連續雷：逐級的或連續的击穿，從地面上很高的物體起，發展到雲層，且均勻地形成主放電。主放電的電流不超過幾千安培，但在十分之幾秒內連續不斷地流過。這樣的雷電不會招致過電壓的危險，但電流長時間地流過能使避雷器損壞。

設備損壞率。為了判斷雷電過電壓的危險性，重要的是判斷在一個雷季內設備上可能遇到的雷擊次數。

多年的觀察確定，在蘇聯的高壓輸電綫上，平均每 100 公里和 20 個雷電日內，有 15—30 次雷擊。在缺乏其他數據情況下，導則 [文獻 26] 建議，在計算中可以按一個雷電日、一平方公里被害面積，採用直接雷擊設備的損壞率為 0.1。所謂被害面積系指自目的物所佔面積起向四面各展出 4—5 倍的面積，並要考慮到它的地形。此時，變電所的落雷次數，可依下列公式決定：

$$N_{yb} = n_{ep}(L + 10h)(B + 10h) \cdot 10^{-7}, \quad (69)$$

式中  $n_{ep}$ ——雷電日數；

$L, B, h$ ——建築物的長、寬和高，單位為公尺。

根據輸電綫路的雷害分析（第 26 節），可以說按公式（69）算出的落雷次數較實際為高。

## 第 24 節 大氣過電壓和雷電參數

在下部具有電荷的雷雲經過綫路之上時，在導綫和在其他的周圍物體上，由於靜電感應生有異性電荷，而同性電荷則沿著導綫向各方面及大地流散。

从云层向地面發生逐級击穿时，则在云层与雷道間發生电荷的重新分佈，并在导綫和地面的設備上增加異性电荷。主放电是在所發展的雷道达到地面物体之后开始的。雷道的游离显著地增加，而雷道內的剩余电荷是由于电流通过接地物体时的異性电荷来补偿的。这将形成主放电的中和的强烈游离的“等强区分” (плазма) [校訂者按：气体中放电。陽离子与电子密度相等的区分謂之 плазма 今暫譯为“等强区分”]。

电流通过被害物体迅速地增大，中和該物体所感应的电荷，且由于接地裝置內电阻压降和电感压降，使它充电到与云层电荷同性的極高的电压。如此，就产生了直接落雷的过电压。

同时，在落雷处附近，导綫中的电荷得到解放，且作为感应过电压波沿綫路傳导，其極性与云相反。

在綫路上所做的測量[文献 7，第 528 頁]指出，感应过电压通常不超过 300 仟伏，而 400 仟伏的过电压是接近極限的，也就是說，比同一电流振幅的直接雷击时所發生的过电压小的多。

由于在主放电發生之前的瞬間，雷道中电荷和电流的分佈規律，以及在逐級击穿的發展过程所准备的雷道中主放电电波的傳播規律的研究不足，感应过电压的数值極难判断。所以現今在計算綫路中發生的直接雷击过电压时，由于綫路导綫上束縛电荷的釋放而产生的感应过电压可以完全不計。最近在莫斯科动力学院 (МЭИ) Л. И. 西罗金斯基领导下，拟定出对感应过电压影响的計算方法。应当認為，这种方法在經過相应的試驗确定之后，必將应用到綫路防雷保护的實際計算上去。

目前采用的对直接雷击过电压数值的估計方法，是把雷击想象为沿均匀导綫向落雷处襲来的电波。此种示意图是野外測量雷击电流的結果，同时在实用的計算中極為簡單。

許多雷电参数和雷电現象的測量結果，列入文献 53, 55 中。下面列出实际計算防雷保护方式时所需各雷电参数的測量結果。

**雷电波阻。**雷电等效回路圖在所有的防雷保护計算中佔極重的地位。这回路圖应尽可能反映出雷电主放电的物理过程，同时

在計算雷击的瞬時現象時應簡單而方便。通常採用的雷電等效回路圖是用  $z_0 = 200 \sim 400$  歐姆的波阻形式，沿着它，具有已知波形和振幅的電壓波襲來雷击地點，將物理過程極遠地反射到雷電本身，至於更完善的回路圖的研究，將提供很大的實際興趣。然而，若拿在自然條件下所測得的作為雷電電流的原始資料，則雷電波阻  $z_0$  的值在  $200 \sim 400$  歐姆之間的变化，對比較計算的結果，影響甚小，且為了能夠相互比照，宜採用  $z_0$  的平均值。依照導則在所有的計算中雷電波阻採取  $z_0 = 300$  歐姆。

**雷電流振幅。**現今測得的雷電流總數接近 10 000 次。大多數是在送電綫路上用強磁性記錄器測量的，記錄器是以鐵粉和粘合物質壓制而成，並裝在靠近避雷針接地引下綫和靠近避雷綫等處，落雷在避雷針上時有電流沿引下綫流過而使記錄器磁化。依照剩磁的大小和方向能夠推測雷電流的振幅和極性。因為雷電流的振幅與避雷針的接地電阻有關係，所以為了便於比較測量的結果起見，照例將測得的電流值換算為“避雷針接地電阻為零”時的數值。此時雷電可認為是在無損失而且波阻  $z_0 = 300$  歐姆的均勻綫路內流動的過電壓波。

根據等值電路圖 14 通過接地電阻  $R_j$  的避雷針的電流振幅等於

$$I_R = \frac{2U_0}{R_j + z_0}.$$

當  $R_j = 0$  時，電流振幅  $I_0$  為  $I_0 = \frac{2U_0}{z_0}$

因之，
$$I_0 = \frac{R_j + z_0}{z_0} I_R,$$

式中  $I_R$ ——用記錄器實際測量的雷電流值；

$I_0$ ——按避雷針的接地電阻為零時的計算雷電流。

相應地沿雷電波阻向落雷點來到的電壓波振幅計算值，採取

$$U_0 = \frac{I_0 z_0}{2}.$$

列寧格勒工業大學高壓試驗室所制的計算雷電流綜合重復曲