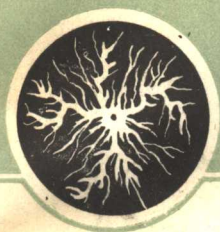


全国雷电观测专
业会议文件之二



雷电压和雷电流 最大陡度的测量

全国雷电观测专业会议秘书组编

水利电力出版社

內 容 提 要

本书是水利电力部技术改进局在全国雷电观测专业会议上所作的报告，也是雷电观测科学研究专题文献之三。书中讲述测量雷电压用电花仪的基本原理、结构、校正，及其应用和测量方法；雷电流最大陡度仪的结构、类型、校正及其测量方法等。

本书供高压工作者阅读，对从事雷电观测的人员有很大帮助。



雷电压和雷电流最大陡度的测量

全国雷电观测专业会议秘书组编

*

2224D630

水利电力出版社出版（北京西郊科学路二里沟）

北京市书刊出版业营业许可證出字第105号

水利电力出版社印刷厂排印

新华书店科技发行所发行 各地新华书店經售

*

850×1168毫米开本 * 3 $\frac{1}{4}$ 印張 * 76千字

1959年12月北京第1版

1959年12月北京第1次印刷(0001—1,470册)

统一书号：15143·1800 定价(第9类)0.41元

緒論	3
一、雷电压的測量	4
二、雷电流最大陡度的測量	6

第一篇 电花仪与雷电压的測量

第一章 基本原理	8
第二章 电花仪的类型及其結構	13
2-1 靜止式电花仪	13
2-2 慢速旋轉式电花仪	15
2-3 快速旋轉式电花仪	20
2-4 間歇性移动式电花仪	29
2-5 悬式电花仪	31
第三章 非悬式电花仪的分压与分压器	40
3-1 靜电分压器的类型及其結構	40
3-2 分压比的选定方法	43
第四章 影响測量結果的因素与电花仪的校正	44
4-1 影响測量結果的因素	44
4-2 电花仪的校正	54
第五章 电花仪的应用与測量方法	59
5-1 电花仪的应用范围	59
5-2 电花仪安装运行所需的輔助設備	63
5-3 悬式电花仪的安装运行及測量維護方法	64
第六章 雷电压測量的一些研究結果	73
6-1 各国測量概況	73
6-2 研究結果簡介	75

第二篇 雷电流最大陡度測量仪与最大陡度的測量

第七章 基本原理	81
----------	----

第八章 雷电流最大陡度测量仪的类型及其结构82

 8-1 概述.....82

 8-2 大测量范围双极式陡度仪.....83

第九章 影响测量结果的因素与陡度仪的校正89

 9-1 影响测量结果的因素.....89

 9-2 陡度仪的校正.....90

第十章 雷电流最大陡度测量仪的测量方法.....91

 10-1 陡度仪安装运行所需的辅助设备91

 10-2 陡度仪的安装运行及测量维护方法92

第十一章 雷电流最大陡度测量的一些研究结果.....94

附 录97

参考文献98

緒 論

为了保証电力系統的安全可靠，防雷保护工作無論在設計或运行方面，都是很重要的。为了使防雷措施正确可靠和經濟合理，必須广泛地在我国开展雷电觀測工作，全面地和有计划地研究掌握我国各地雷电活动的規律及其参数等特性。設計防雷保护的时候，須应用雷电流及其陡度出現的或然率分布曲綫，并要了解該地区的雷电活动情况(雷电日数及雷电小时数等)，各种电气设备的絕緣配合必須按照伏秒特性曲綫进行。伏秒特性曲綫是用标准冲击电压波在設備上进行試驗后得来的，而标准冲击波是在实际的雷电特性的基础上来考虑的。

常用的关于雷电的主要特性和参数有：(1)在不同地区的雷电活动情况(以年平均雷电日数、雷电小时数及雷电次数等表示)及其規律；(2)每平方公里的地面每雷电小时(或雷电日)落雷的平均次数；(3)雷电流及雷电压的极性和波形；(4)雷电流及雷电压的幅值；(5)雷电流陡度(包括最大陡度和平均陡度)；(6)雷电放电的发展过程和重复放电次数；(7)雷电路徑的波阻抗。

近代用来研究雷电特性的主要仪器一般有下列几种：(1)磁鋼記錄器；(2)电花仪；(3)陡度仪；(4)阴极射綫示波器；(5)光学仪器，如波依斯照象机(Камера типа Бойса)等。

相当长時間以来，在我国各电力系統中雷电觀測工作开展得很不够。这不仅对于高压电网，而且在低压电网及电訊綫路中亦是如此。因而对于閃电所形成的雷电流及雷电压等参数的了解很不够。

在我国，电花仪及雷电流最大陡度测量仪等測量設備的研究和制造工作，也是近两年才开始有计划地进行。为使測量仪器發揮更大作用，以便測得更高参数，应尽量将測量仪器安装于避雷針上和110千伏及以上的輸电綫路与变电站母綫上。

一、雷电压的测量

雷电对地放电的时候，开始是以所谓先驱閃电路的形式向大地伸展。先驱閃电路移动的速度比較小，約为 $(1\sim 2)\cdot 10^7$ 厘米/秒。

由于先驱閃电路带有一部分雷云的电荷(大多为負极性)，使先驱閃电路的端部具有极高的电位，約达10兆伏甚至更高。当先驱閃电路接近大地时，主放电开始。主放电从大地向雷云傳播的速度非常大，約达光速的0.5~0.1倍。主放电的特点是放电电路具有强烈的光輝，同时在雷击地点流过大量的雷电流。

当被击物通过大量的雷电流时，由于雷电流与被击物波阻抗作用的结果，雷击点将产生极高的电位。这就是“直击雷”过电压的起因，其数值有达1亿伏以上的。

此外，由于在放电发展过程中，中和很多电荷，先驱閃电路的电場剧烈改变，在带电雷云的电場作用下的电力綫或其他建筑物中，因原先所感应的电荷，被释放而形成很高的电位。这也就是感应过电压，其数值最高为500~600千伏。

雷击于輸电綫路的杆塔或避雷綫上时，作用在絕緣上的不仅有雷电流经过被击物时所产生的直击雷过电压，同时还有感应过电压。

虽然，在电力設備耐雷性能的计算中，原始数值不是雷电压，而是雷电流、雷电流最大陡度和波阻抗(雷电压的大小通常是通过雷电流、波阻抗及加入某些假設等进行计算的)。但雷电压这一参数在防雷保护工作中所起的作用是非常重要的。

在计算中一般是說，在一定的耐雷水平下，杆塔电位为絕緣水平所限制。但是实际上，在雷电流超过耐雷水平的情况下，虽然綫路已发生閃絡，随着电流的升高，杆塔电位仍可能升高。根据美国的测量结果，杆塔电位可达輸电綫路額定相电压的21倍，或相当于絕緣水平的1.5~2.5倍以上。这一数据也可通过实测得到。

雷电压 U 与雷电流 I 及杆塔接地电阻 R 的关系曲线是值得研究的。日本把这一曲线叫做綫路的伏安特性曲线，即

$U = f(I_0 R)$ 。通过实测得出这一曲线后，即可判别在一定的 R 下， U 与 I_0 的关系，或在一定的 I_0 下， U 与 R 的关系。从而得出杆塔电阻、耐雷水平与绝缘水平三者的相互关系，使三者获得适当的配合。

有些国家初期一般是在线路上装设阴极示波器来测量雷电压的数值。但是阴极示波器的构造及运行维护复杂，价格昂贵，不可能大量采用。经济简便而又能广泛应用的测量过电压的方法，是利用李黑金伯尔葛 (Лихтенберг) 图。

电花图即“李氏图”的作用，是根据冲击电压波加于两个电极时所产生的表面放电的摄影为基础的 (图 1)。一个电极是针尖，而另一个是平面，或者是圆柱体。在冲击电压加于电极的瞬间所产生的表面放电，使放在电花仪两电极间的感光底片上产生图象。

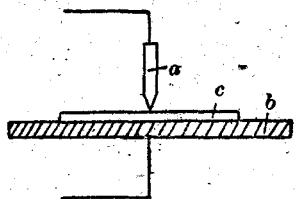


图 1. 电花仪原理示意图

目前李黑金伯尔葛图的图形，能够记录在底片表面进行的时间非常短的并以高速度发展的电的现象。在快速升高的电压下，这一速度可达数百公里/秒。因此，在实验室中被用来测量一般持续存在时间为 3×10^{-8} 秒左右，而电压升高到发生最大值时相应的时间为 10^{-8} 秒以上的电压。

在图 1 的电花仪原理图中，当电极间加以不同的电压时，底片上将得到一系列的李氏图形。其形式取决于电压的极性、幅值、波形，以及配置在上面的针尖电极的情况等。

用另外的方法也可以获得清晰的图形：假如在两电极间仅放置由电工绝缘材料 (例如橡胶) 制成的圆盘，除去照象底片，在电极上加一定电压 (1~30 千伏)，然后在盘的表面上散布一些粉末 (例如硫磺粉或红铅粉)，那么在表面上因吸附尘末就形成了清晰的电花图。

1924年，彼特尔斯最早地将李氏图应用于技术上，他制造了第一个利用在照象底片上所得到的李氏图来记录电压波的工程上

的仪器，并且把这仪器命名为电花仪(按原文为波的记录器)。虽然电花仪有很多缺点，主要是准确度小，但应用电花仪曾得到非常珍贵的结果。

上述仪器的原理构造(图2)包括下列两个部分：具有尖端的

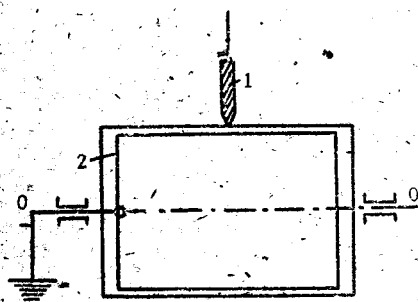


图2 旋轉式电花仪原理结构图

針形电极1，其末端放置在照象軟片带的感光层上面，此照象軟片是包围在絕緣物的鼓形輪子上；由金属薄片做成的电极2，紧貼着上述鼓形輪的内壁。仪器是借助一钟表机构使鼓形輪成一定速度慢慢轉动，因此可以记录作

用在仪器电极下照象軟片带表面各处的电压波。

电花仪可以用来决定冲击电压的极性、幅值以及某些波形特性，也可以决定内部过电压的最大值等。电花仪因运用方便而经济，所以被广泛地应用和逐步得到改进。

二、雷电流最大陡度的測量

雷电流波头陡度可以分为雷电流波头平均陡度和雷电流波头最大陡度两类。前者的确定是在相当于雷电流冲击波幅值10%与90%的地方引出两条水平的直綫，然后在这两条直綫和冲击波波头部分的两个交点間連以直綫，直綫的斜率就决定了波头平均陡度。后者即相当于雷电流波头部分最陡的那一点的陡度。

直接雷击的波形可能是各式各样的。当比較各种防雷保护对策时，在計算中，波头部分可采取半余弦波形、斜角波形或指数波形等。这些波形均給出計算参数 I_0 (雷电流幅值)、 I'_m (雷电流最大陡度)和 τ_0 (雷电流波长)。

以避雷綫保护輸电綫路的进綫段，一方面可以限制由綫路倣来的雷电波的振幅，使之不超过避雷器的規定电流数值，保証避

雷器对配电装置等电气设备具有可靠的保护性能；另一方面，也可以限制侵入波的波头陡度，使符合变电所“危险波”曲线的要求。在实际的防雷保护措施中，输电线路全线装设架空避雷线，或仅在变电站的一定进线长度的“进线段”装设避雷线，以及装设管型避雷器和阀型避雷器等，都是为了达到上述的保护目的。减低电波的陡度就可以增大阀型避雷器与被保护绝缘（变压器及其它电气设备）间的允许距离。确定这一距离时，对于不同情况的线路，采用不同的侵入电压波波头陡度（千伏/米）作为计算条件。进线段装设的管型避雷器的组数及其特性的选择，也以雷电流波头陡度的减小情况作为所依据的主要条件。

雷电压波头陡度除了与线路波阻等情况有关以外，它在很大程度上是取决于雷电流波头陡度的。雷电流平均陡度与雷电流最大陡度间也有一定的关系。在防雷保护的有关计算中，雷电流最大陡度有着很重要的位置。

雷电流最大陡度是用安装于避雷针或线路杆塔接地引下线附近的小框

来测量的。如图3所示，当雷电流通过上述接地引下线时，设其

波头最大陡度为 $I'_m = \left(\frac{di}{dt} \right)_{max}$ ，则在小框内感应出一个电动势

$M \left(\frac{di}{dt} \right)_{max}$ 。此处 M 为接地引下线与小框之间的互感系数，决定于仪器的几何尺寸。在小框的分接处连接有一个电花仪，以便

记录在其两端的电压波幅值。因此，电花仪记录下最大电压 $U =$

$M \left(\frac{di}{dt} \right)_{max}$ 后，依据已知的 U 值，便可利用校正曲线来确定雷

电流波头的最大陡度 $I'_m = \left(\frac{di}{dt} \right)_{max}$ 。

许多国家很早就开展了这方面的测量工作，但和雷电流幅值的测量记录比较起来，雷电流最大陡度的资料还是不多的。

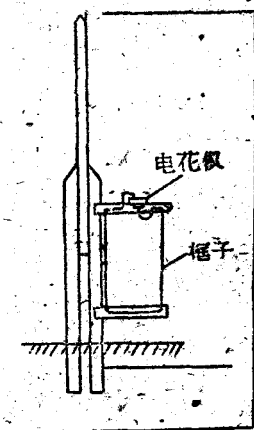


图3 雷电流最大陡度测量仪示意图

第一篇 电花仪与雷电压的测量

第一章 基本原理

电花仪结构的示意图如图 1-1 所示，其主要部分是用被厚度不大的，但面积则比较大的介质所隔开的两个电极（针尖和针尖或针尖和平板）所组成，密封在暗盒内。当电极上受到冲击波（例如电压约 2.5~25 千伏）作用时，放电现象即在介质表面扩展，并且由于游离激发，在电极四周产生电晕和火花，使盒内的感光底片感光，形成电花图形的样子，其大小随冲击电压波形的极性、幅值及陡度等而改变。图 1-2 绘出加于针尖电极的冲击电压为正极性及负极性情况下以及在工频电压作用下所得的电花图，三者的差异是很大的。正图形由各个树枝状的主杆所组成，它们有显明的有限的树枝状末端。负图形则由一些有扩散边缘的扇形组成，而且每一个扇形是由一系列的从图形中心发出的射线所组成。对应于工频电压的电花图则是一具有扩散边缘的圆形黑印。

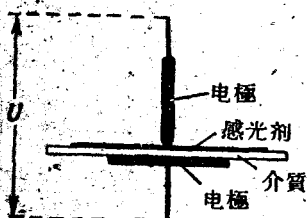


图 1-1 电花仪的示意图

且每一个扇形是由一系列的从图形中心发出的射线所组成。对应于工频电压的电花图则是一具有扩散边缘的圆形黑印。

关于正负图形的物理构造问题，历史上曾经有过许多争论。根据参考文献 1 所提供的资料得知，正极性与负极性图形的差别决定于正游子和电子游离能力的差别。按照当时布尔奇毕拉马和别者尔谢那的意见，正极性图形是由于正游离所构成，而负极性图形则为电子游离所构成。游子游离所必需的某一能量级的能力比电子游离情况下所必需者为大。布尔奇毕拉马计算，在电子开始发生游离时相应的电压与游子开始游离时相应的电压是不一样的。但是，随后马格奴逊却证明，正极性图形的构成也和负极性

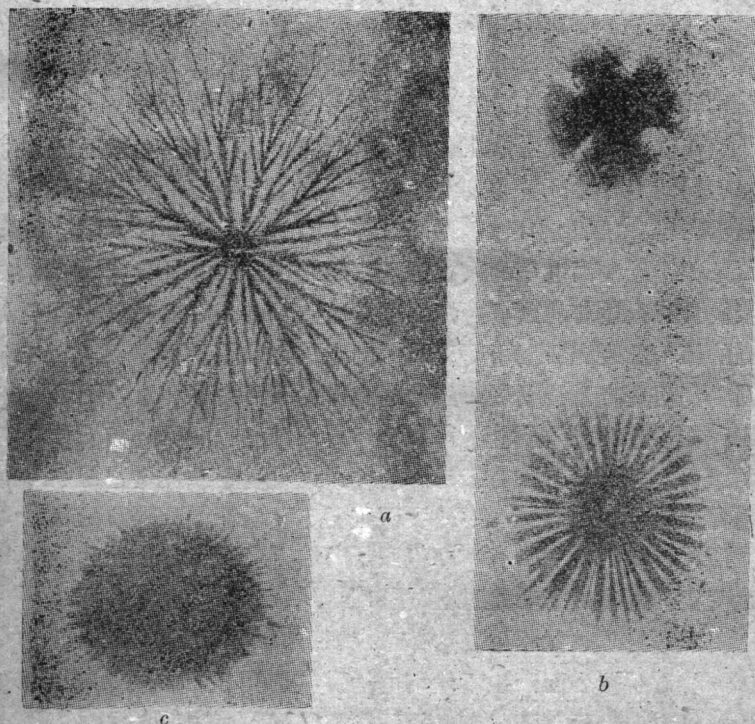


图 1-2 电火花图

图形一样是由电子运动所产生，并不是由于正极性电荷（离子和阳电子）的游离所产生。此外，馬尔克斯也根据气体放电的理論对图形的机械結構作了很詳細的論述。必須指出，按照馬格奴逊的研究，决定电火花圖結構的直接因素是产生在照象底片感光剂（乳浊液）表面上的。由于电压波的冲击所形成的光。当时，斯捷克尔尼柯夫在全苏电工研究所进行了一系列的實驗，补充了馬格奴逊的實驗。實驗是将电火花仪放置在一个器皿中；逐渐将器皿中的空气抽出，当器皿內的空气逐渐稀薄时，所得电火花圖也逐渐模糊不清。繼續将空气抽出时，图形即完全消失。这进一步証明所得电火花圖实际是在电极周圍的空气层中进行的游离过程所发生的光的印迹而已。

近代对于电花图的物理或因有了完整的解释，这是与气体放电理论的发展分不开的。下面将依据近代的理论来阐明电花图物理结构的基本原理。

在电极上加冲击电压以后，所产生的放电现象的发展过程可能包括两个阶段：首先是电量阶段。在这阶段中，放电是围绕电极（针尖电极或棒极），以电阻较大的细线形式进行；较后的阶段是相当于较高电压的火花阶段。此时细小的电量放电的通道汇聚成具有很显著的分散特性的火花通道。电压应限制在相当于过程的第一阶段的数值中。否则，测量结果的误差将超过容许范围。利用垂直于放电表面的磁场的作用下所得到的电花图可以证明：在正放电或负放电的情况下，放电细线的曲折间相当于电子的运动，而不是游子的运动。这样，关于电子在放电过程中的作用的理论，已用直接明显的实验证明了。电花图沿表面的巨大的扩展速度 $\approx (2 \times 10^8 \sim 3 \times 10^7)$ 厘米/秒，甚至更大)也使我们由假定，电子的运动是过程的基础。

图形的形成过程可以这样来说明：加在电极上的电压，沿电极间的介质平板表面产生不均匀电场，其切线分量（沿平板表面）随远离针尖电极而下降。在电场强度超过临界值的区域内，游离很强烈，电子迅速向针尖电极移动（如果针尖电极是正的），或远离它（如果针尖电极是负的）。

当加于针尖电极的冲击电压是正极性时，由于尖极附近的电场强度最大，周围的空气处于游离状态，电子与正游子各向相反的方向移动。空气游离后，电子很快的离开游离区而进入电极，在表面上则遗留下行动缓慢的正的表面电荷（正游子）。这正的表面电荷和正尖极所生的合成电场就构成了游离区以外的空间电场，并具有较高的电场强度，形成促使表面电荷以外的空间各点产生游离并继续向外发展的有利条件。这样，自电极向周围形成导电细线，其末端具有很强的电场强度，足以使游离继续发展。所有电子均沿这些细线自尖极移动而进入电极，遗留下正的电荷。放电过程的发展一直到游离区边缘的电场强度不足以再引起游离

为止。这样就形成了以电极为中心，向外放射的綫形分枝的放电路徑，綫的末端細而根部較粗。也就是說，当尖极为正时，有形成边缘很明显的清晰的通道的倾向。沿整个通道的电位梯度比較高，使边缘分枝容易产生和发展，且保持清晰的外形。所以正极性的电花图是由星形布置的相互間清晰地分开的带分枝的通道所組成。电压上升速度愈大，游离过程扩展速度愈快，通道愈直，并且数目愈多。电压上升速度减小时，游离过程扩展速度减弱，通道数目减小，分支增多，通道弯曲起来，并呈互相交叉状，但仍保持正图形特性的外形。

相反地，如果加于尖极的冲击电压是負的，放电的发展就和正尖极的情形不同，这时在尖极附近的电场强度仍然是最大，游离还是从这里开始。但是游离之后，电子移向游离区以外而不是移向針尖电极，残留在尖极附近的是移动緩慢的正的表面电荷。这些正表面电荷使远离尖极的电场减弱。自尖极飞向周圍的电子背逆着此正电荷的反电场以高速度运动而使外部空气游离，并在周圍形成离子和电子的环。若环的周圍电位梯度足够大，游离就会繼續下去。更具体的說，若尖极附近的某一方原来游离特别强烈时，这一地方积聚的正表面电荷也特别多，这就减弱了离尖极較远区域的电场，使放电不象正尖极那样容易发展；而某一方原来游离較弱的地方，則积聚的正表面电荷比較少，也就是說距离尖极較远区域的电场减弱得比較小，該区域的游离就比前一情况强烈，直至遺留的正电荷增多以后，电场变弱，游离也渐变弱而至停止。这样，补足了原来游离較弱的地方，使游离区更均匀的发展。沿电极周圍的电位梯度維持平衡，放电方向不存在，放电边界就变得模糊不清了。因此，負极性的电花图是由边缘模糊而没有分枝的細直綫所形成。当电压上升速度愈大时，游离过程迅速扩展，細綫数目愈多。光亮的直的細綫被很多均匀分布的狭暗間隙分隔开来，成为許多圓分。当电压上升速度减小时，游离过程扩展緩慢，有利于游离的均匀发展。

电花图与所加电压幅值的关系有很大的实用价值。无论是正

极性还是负极性，电压幅值增大时，图形也自然地随着增大。但在同一电压幅值作用下，负图形的直径要比正图形小。试验说明，正图形的直径约为负图形直径的1.8~2倍以上。

必须指出，除了利用在涂感光剂(溴化银)的玻璃板或底片上加冲击电压波的方法可以得到电花图以外，利用在放电后，在绝缘板上撒上粉末(硫和氧化铝的混合物)，然后抖动粉末的方法也可以获得电花图。由前述已知，在感光剂上的图形是在游子复合时所形成的光线作用下产生；而在放电后，在介质平板上撒粉末所获得的图形是由于板上的表面电荷吸引极化了的粉末所形成。在后一情况下，所加电压为正时剩下黄色图形(硫)；而在电压为负时剩下红色图形(氧化铅)。

在实际应用中，从所得电花图的形状就可以判别所加电压的极性及大致决定波形的陡度；而由图形的平均直径(或半径)，通过由实验制订的表示电花图平均直径(或半径)与所加一定极性的电压幅值关系的校正曲线，即可查得图形相应的电压幅值。

由于电花仪本身所承受的有效电压范围一般最高也不超出2.0~30千伏，也就是说在所加电压为2.0千伏时电花图才有可能形成，而在所加电压达30千伏以上时，仪器即将发生沿面闪络，即滑闪放电，所得电花图即成畸形发展，读数分散，误差很大，不能作为测量的依据。因此，普通的电花仪一般都需要经过比较贵重和复杂的分压器再与输电线路的导线等测量点连接。

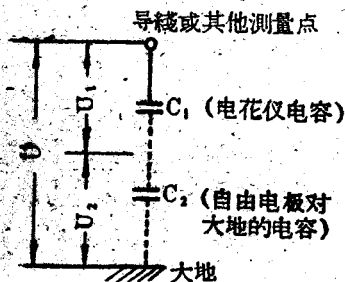


图 1-3 悬式电花仪原理图

近代推广的悬挂式电花仪(或简称悬式电花仪)不必采用分压装置，它是直接悬挂在距地面一定高度(例如在2~3米以上)的测量地点进行测量。仪器不必接地，这是容易理解的。因为事实上大地和安装地点之间就构成了一个电容分压器，它是由电花仪本身的电容

(即上下两电极間构成的电容)和自由电极与大地之間的电容两者串联組成(图1-3)。因为电容 $C_1 > C_2$ ，所以电压 $U_1 < U_2$ ，这样就起了很好的分压作用。

影响电花仪测量准确性的因素很多，这将在第四章进行詳細的論述。电花仪的测量誤差一般是在15~20%的範圍內。正負极性的电花图的誤差範圍也有所不同。

第二章 电花仪的类型及其結構

由于研究目的不同，現代所使用的电花仪的結構型式有很多种，这主要是按照电花仪的电极与感光底片的相对速度，以及电花仪的安装情况等划分的。一般可分为：1) 靜止式电花仪；2) 慢速旋轉式电花仪；3) 快速旋轉式电花仪；4) 間歇性移动式电花仪；5) 悬式电花仪。

2-1 靜止式电花仪

靜止式电花仪又叫做固定式电花仪，也有叫做固定胶卷式电花仪，其电极和照象底片均靜止不动。最早的一种电花仪型式通常是在实验室的环境下使用。在这种情况下更換照象底片不必自动进行，因而这种电花仪的結構和使用都极簡單。若干年前許多国家曾大批用它来测量雷电参数。首先在美国使用这种簡單的仪器来記錄雷击輸电线路的杆塔，以及决定流經雷击杆塔的雷电流的数值。最原始和最簡單的一种靜止式电花仪是图1-1所示的一种，外面包以一密封的暗箱即可摄取电花图。为了同时錄取正与負两个图形，以幫助我們解釋电花图，人們采用图2-1的正反接連方法。

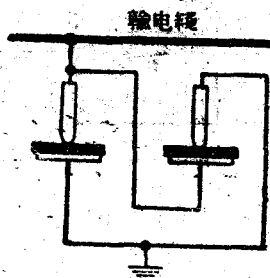


图 2-1 电花仪的正接和反接的綫路图

这样，无论冲击电压的极性是什么，我们总可以在感光底片上获得正的及负的电花图。

在苏联，这种被称为直击电闪记录器的仪器的构造，在应用中也不断地得到改进。被称为雷击电闪记录器的（图 2-2）电花仪

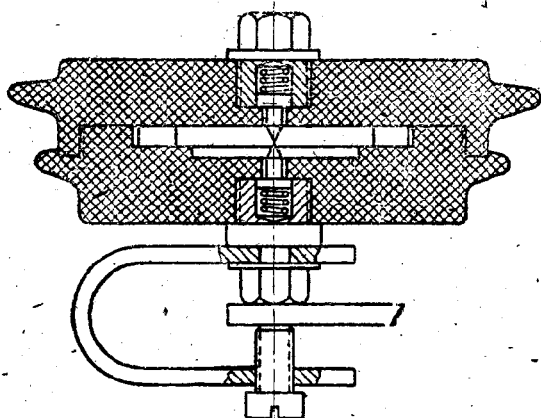


图 2-2 在 1931 年用硬橡皮制成的直击电闪记录器
(全苏电工研究所)

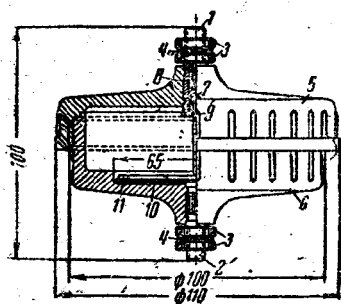


图 2-3 在 1939 年用电木制成的直
击电闪记录器
(苏联科学院动力研究所)

1~4—固紧螺絲及螺帽；5~6—盖子；
6~10—电极；11—照象底片。

是在 1931 年由全苏电工研究所 И.С. 斯捷克尔尼柯夫及捷齐克等人设计的。仪器是由硬橡皮制成，组成部分包括两个用螺絲合成的盖子，在其中安置一平板电极和一针状电极。这种仪器曾在苏联的一系列电网中使用，以记录杆塔上的直击雷。现代在苏联用来记录直击雷电流波陡度的静止式电花仪，是苏联科学院动力研

研究所的几种主要型式之一。图 2-3 是其中的一种型式，由塑料制成。这种材料是 B. 柯馬里柯夫制造的。

图 2-4 是美国 G. E. 公司制造的一种固定式电花仪，外面是一个胶木圆套筒，内直径较大的一端为平板电极，另一端则为被弹簧所支持的针尖电极，以使尖端电极适当地在感光底片上。由于构造上的尺寸及绝缘配合的关系，在电花仪端部出现的过电压超过 20 千伏(波幅值)时，将发生闪络。图 2-5 是两个电花仪正接和反接时的情况。

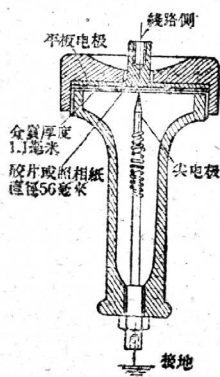


图 2-4 美国制固定式电花仪

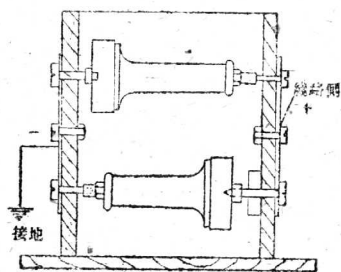


图 2-5 固定式电花仪的正接和反接

静止式电花仪虽然简便经济，但有着很多重大的缺点，主要是：1) 不能连续不断地拍摄电花图，也就是说每冲击一次就要换感光底片；2) 不能测量连续放电时的大致过程；3) 没有分压器时，电花仪的最高测量范围一般只达 25~30 千伏。为了提高测量范围，必须使用烦杂而价昂的分压设备。

为了改善上述前两项缺点，后来发明了转动式电花仪。

2-2 慢速旋转式电花仪

慢速旋转式电花仪是在 1924 年开始被应用来研究高压输电线路的大气过电压的。电花仪的结构型式多种多样，但实际上各种