

## 实验十六 避雷针的工作原理

### 一 实验目的

观察导体的尖端放电现象，了解避雷针的工作原理。

### 二 实验装置

如图 16-1 所示，避雷针演示仪由高压直流电源、导体板、绝缘支架、球型导体（金属球）、尖端导体（模拟避雷针）等组成。两块导体板由绝缘支架隔开，上极板代表云层，下极板代表建筑物。在下极板上竖立两导体细杆，细杆上可安装球型导体和尖端导体。整个装置由绝缘底座支撑。

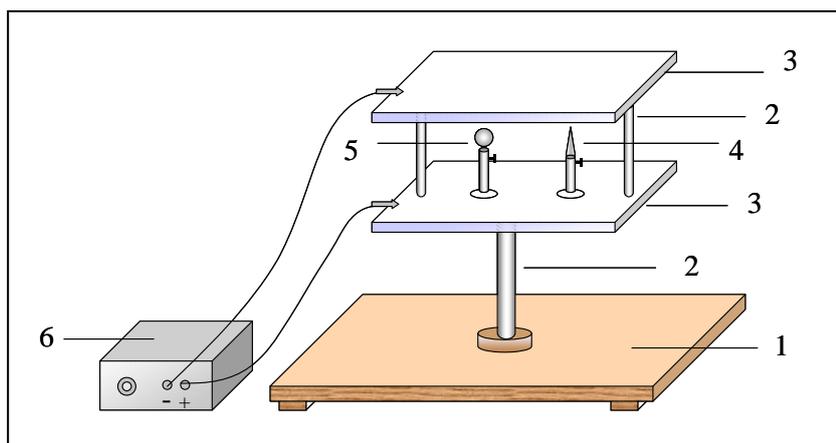


图 16-1

图中：1-底座，2-绝缘支架，3-导体板，4-尖端导体，5-球型导体，6-高压直流电源

### 三 实验步骤及现象

- 1 将球型导体和尖端导体分别插入避雷针演示仪中下面一块金属板上的两个支架内，调节支架固定旋钮，使金属球和尖端导体的高度一致，顶部距上板均为 1 厘米左右。
- 2 用导线将静电高压电源的正输出端与下极板相连，将负输出端与上极板相连。
- 3 打开电源开关，从小到大调节输出电压大小。当极板间电压超过 10 千伏时，可观察到尖端导体与上极板之间产生强烈的火花放电现象，此时可听到放电的劈啪声，并看到放电时产生的火花。

### 四 实验原理

根据导体静电感应原理，当达到静电平衡时，导体内部无净电荷，电荷只分布在导体的表面。导体表面电荷的分布与表面的形状有关，曲率越大的地方（即越尖、越凸起的地方），电荷面密度越大。导体表面电荷面密度  $\sigma$  与表面附近的场强  $E$  满足以下关系：

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad (1)$$

由上式可知，与球型导体相比，尖端导体在尖端处电荷密度较大，在尖端附近形成强电场。在强电场的作用下，空气分子被电离，此时导体上堆积的电荷便会通过尖端不断向空气排放，产生电晕放电。若电场强到足以将空气击穿时，就会形成放电通路，产生放电火花。

在建筑物的顶端安装避雷针，就是利用这种导体的尖端放电，避免在雷雨天建筑物上有过多的感应电荷堆积而遭受雷击破坏。当带电云层（多数的带电云底部带负电）接近建筑物

时，避雷针的尖端因静电感应而集中了大量异种电荷，致使附近的空气被电离而产生尖端放电，减少了建筑物与云之间打雷的可能性。

在实际应用中，避雷针必须可靠接地，当电荷来不及排放，强电场将空气击穿而发生雷电时，放电电流可通过避雷针的接地线流入大地，从而避免建筑物和人遭受雷电的伤害，确保生命财产的安全。如果避雷针没有可靠接地，它不但起不到避雷的作用，反而会增大雷击的可能性和危害程度。

## 五 注意事项

1. 注意高压电源的安全使用，实验过程中避免触及实验装置中的各个金属部分。
2. 由于静电电压较高，每次调整实验装置前，一定要先断开电源，并将两根电源连接线的接头相碰进行人工放电，以确保操作人员的安全。

## 六 思考题

- 1 阴雨潮湿天气情况下演示时，电源电压应提高些，才能看到上述现象，这是为什么？
- 2 该实验中为什么看不到导体球与极板间的放电现象？如果将尖端导体取下（或调低其高度），重复上述实验，加大电压后，能否观察到金属球与极板间的放电现象？比较球型导体和尖端导体分别产生放电现象时电源电压的大小，并分析原因。
- 3 在无锡的锡惠公园里有一棵高大的古树，该树的树身上有一根钢筋由地伸到树梢，这根钢筋起了什么作用？

## 七 知识拓展

### 雷电与避雷针

雷电是自然界一种常见的放电现象，也是世界上 10 种最严重的自然灾害之一。全球平均每分钟发生雷电 2000 多次，闪电的平均电流为 3 万安培，最大电流可达 30 万安培，电压 1 亿伏以上。一个中等强度雷暴的功率可达一千万瓦，相当于一座小型核电站的输出功率。闪电的中心温度可高达 17000~25000℃，闪电的形状有树枝状、条状、片状、串珠状和球状等。当雷电发生时，闪电在空中留下了一条条蜿蜒曲折、美丽而令人恐惧的轨迹。我国每年有三四千人因雷击而伤亡，造成财产损失 100 多亿元。避雷针是人类历史上早期电学研究中的第一项具有重大应用价值的技术成果，据说最先是由美国科学家富兰克林发明的。公元 1749 年，富兰克林在给约翰·米西尔（John Mitchel）的一封信中，提出了云层由于不断受到蒸汽摩擦而带电的看法，他认为“当带电的云块飘过田野、掠过高山、巨树、耸立的高塔、尖屋顶、船舶桅杆、烟筒等物的时候，拖曳出电火，正如许多尖导体和突出物产生的现象一样，整个云层就在那里放出电来”，由此，他提出了避雷针的设想。他认为既然尖导体可以把一个离它很远的带电体上的电荷释放掉，避免它对其他物体产生电击，那么就可以利用它来引雷。他建议将一根上端尖锐并涂有防锈层的铁杆安装在房屋的最高处，并用导线接在它的下端，沿着墙壁直通到地下。在海船上则把铁杆固定在桅杆顶端，用导线连接向下直通入水中。到了雷雨天气，雷电便会很驯服地沿着金属线流入地下，建筑物就不会遭雷电了。富兰克林详细描述了避雷针的装置，并在他进行著名的风筝引雷实验的当年（1753 年），正式宣布了他的发明。

避雷针的发明曾经引起教会的反对，他们认为：装在屋顶的尖杆指向天空是对上帝的不敬，是要受到上帝惩罚的。然而，有一次在一场雷雨过后，当地的教堂受到雷击着火了，而附近装有避雷针的房屋却平安无事，于是避雷针很快就被人们所接受。避雷针的发明不仅使人类免受“雷公”肆虐之苦，而且也使雷电和上帝脱离了关系。

其实，我们的祖先远在西方之前就发明了避雷装置，并在实践中应用。据《后汉书》记载，一次当时的重要宫殿未央宫和柏梁台遭雷电袭击发生火灾不久，就有一位名叫“勇之”的方士向汉武帝建议，在宫殿的屋脊上安装“鸱鱼”来防止灾难。此后两千年来，我国古建筑的屋脊上大多安装了这一类金属瓦饰，有的是龙、有的是飞鱼和雄鸡。虽然它们形状各异，

却都有尖状物指向天空。尽管没有引导线与地面连接，但大雨淋湿的屋檐和墙壁，自然起到了接地的作用。由于这类瓦饰高于建筑物之上，即使是猛烈的落地雷，也通常只是击毁了瓦饰而保全了建筑物主体。

大约在三国时期，工匠们已经意识到接地的重要性，他们在建造远高于一般建筑的古塔时，顶部安装了钢铁制造的“葫芦串”，并把它与涂了金属粉末容易导电的塔心柱连接起来，柱的下端又设置了贮藏金属的龙窟，组成了一套十分完整的避雷装置。江苏省高淳县的保圣寺塔（见图 16-2）相传始建于公元 239 年的三国时期孙权为庆祝母亲八十寿诞所建，塔高 31.5 米，由于塔顶安装了 4 米高的铁制古刹，由覆钵、相轮和宝葫芦等组成，至今历经千年风雨而从未遭雷击。明代，由金属杆、接地线组成的完整的避雷装置也出现了。1688 年西方传教士马卡连来华，他在《中国札记》上写道：“中国有些建筑物的屋顶上有一种叫做龙的装饰物，它头部仰向天空，张着嘴。这些怪物向上伸出的舌头是根尖端的金属芯子，另一端和埋在地下的金属相接，能让雷电跑到地面去而不伤害建筑物。”就按这位西方人的记载来算，我国避雷针的发明也要比富兰克林早了 70 余年！

图 16-3 为 2006 年 8 月 1 日闪电击中南京最高的建筑之一新街口金鹰国际大厦时的情景，该大厦顶部安装的避雷针起了有效的保护作用。



图 16-2



图 16-3