



**中国科创**  
CHINA SCIENCE CREATIVE

# 火花隙特斯拉线圈 制作教程

林思成 汤禹 编著

科新社

# 火花隙特斯拉线圈 制作教程

林思成 汤 禹 编著

科 新 社

(2011年科新社第1版)

# 火花隙特斯拉线圈制作教程

## 关于特斯拉线圈

### 简介

特斯拉线圈（Tesla Coil）是一种使用共振原理运作的变压器（共振变压器），由美籍塞尔维亚裔科学家尼古拉·特斯拉在 1891 年发明，主要用来生产超高电压但低电流、高频率的交流电力。特斯拉线圈由两组（有时用三组）偶合的共振电路组成。特斯拉线圈难以界定，尼古拉·特斯拉试行了大量的各种线圈的配置。特斯拉利用这些线圈进行创新实验，如电气照明，荧光光谱，X 射线，高频率的交流电流现象，电疗和无线电力，以便进行电力传输。

### 发展历史

#### 早期

19 世纪 90 年代,爱迪生 光谱辐射能研究项目的一名助手尼古拉·特斯拉就申请了最初的一个专利。 其中的一个线圈连接在电源上传输能量作为发射器,另一个线圈连着灯泡,作为能量接收器。通电后,发射器能够以 10 兆赫兹的频率振动,但它并不向外发射电磁波。后来, 特斯拉试图利用地球本身和大气电离层为导体来实现无线输电,为此在纽约长岛建造了一个 29 米高的发射塔（沃登克里弗塔）,但由于资金耗尽, 实验工地的设备被法院没收充当抵押, 沃登克里弗塔也被拆除。

#### 放大发射机

特斯拉后来发明了所谓的“放大发射机”，现在称之为大功率高频传输线共振变压器，用于无线输电试验。特斯拉的无线输电技术，值得一提。特斯拉把地球作为内导体，地球电离层作为外导体，通过他的放大发射机，使用这种 放大发射机特有的径向电磁波振荡模式，在地球与电离层之间建立起大约 7.8 赫兹的低频共振，利用环绕地球的表面电磁波来传输能量。这一系统与现代无线电广播的能量发射机制不同，而与交流电力网中的交流发电机与输电线的关系类似，当没有电力接收端的时候，发射机只与天地谐振腔交换无功能量，整个系统只有很少的有功损耗，而如果是一般的无线电广播，发射的能量则全部在空间中损耗掉了。特斯拉有生之年没有财力实现这一主张。后人从理论上完全证实了这种方案的可行性，证明这种方案不仅可行，而且

效率极高，对生态安全，并且不会干扰无线电通信。只不过涉及到世界范围内的能量广播和免费获取，在现有的政治和经济体制下，无人实际问津这种主张。

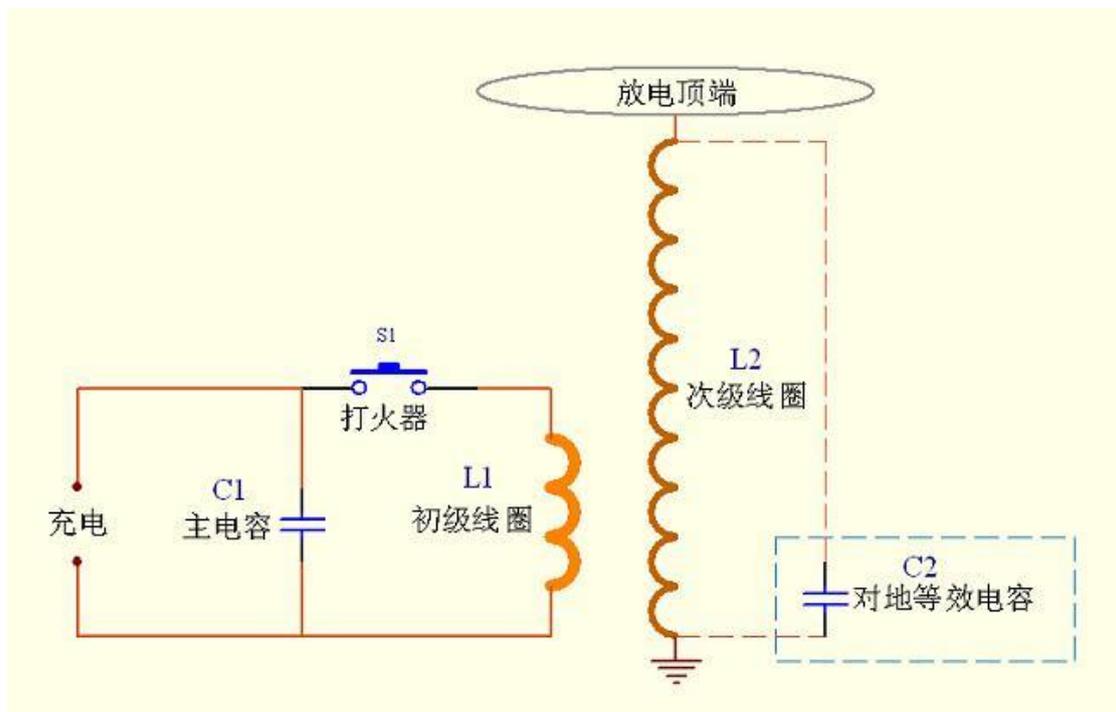
## 特斯拉线圈

为了打破爱迪生的技术垄断,特斯拉特地制作了一个“特斯拉线圈”,它是由一个空心线圈、变压器、打火器、两个大电容器和一个初级线圈仅几圈的互感器组成。原理是使用变压器使普通电压升压,然后经由两极线圈,从放电终端放电的设备。通俗一点说,它是一个人工闪电制造器。放电时,未打火时能量由变压器传递到电容阵,当电容阵充电完毕时两极电压达到击穿打火器中的缝隙的电压时,打火器打火,此时电容阵与主线圈形成回路,完成 L/C 振荡进而将能量传递到次级线圈。这种装置可以产生频率很高的高压电流,有极高危险。特斯拉线圈的线路和原理都非常简单,但要将它调整到与环境完美的共振很不容易,特斯拉就是特别擅长这项技艺的人。

# 特斯拉线圈工作原理

## 工作原理

特斯拉线圈是利用电路谐振进行能量变换的高压发生装置(分布参数谐振变压器)。它的工作原理与普通变压器有较大不同。普通变压器的耦合系数  $K$  一般接近于 1,所以初级和次级电压基本成比例关系;而特斯拉线圈的耦合系数一般都小于 0.3,工作时,两级电压比例是随时间变化而变化的,不成线性关系。下面先来看看特斯拉线圈的主体结构:

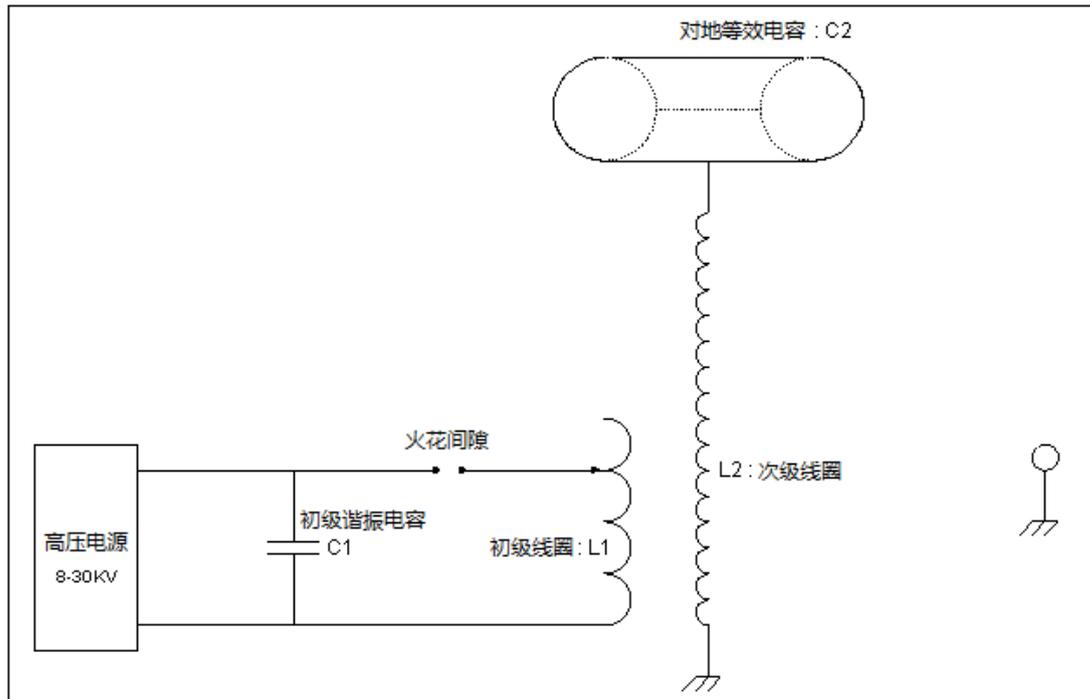


(本图引自网络，作者佚名)

特斯拉线圈的主体部分包括：升压充电回路、初级谐振回路和次级回路；初级谐振回路由初级线圈、主电容、打火器构成。次级谐振回路次级线圈和放电顶端构成，电容和电感的数值可根据实际制作而定。但最关键的是两回路的谐振频率要相同。

特斯拉线圈的工作过程：电源要先给主电容充电，当电压达到打火器的放电阈值时，打火器间隙的空气电离打火，近似导通，建立初级谐振回路，通过耦合向次级回路传递能量。次级回路随之振荡，接收能量，放电顶罩的电压逐渐增大，并电离附近的空气，‘寻找’放电路径，一旦与地面形成‘通路’，‘闪电’也就出现了，如果没有‘闪电’，几个(次数主要与耦合系数有关)周波(周期)后，初级回路能量释放完毕。较大部分的能量都转移到次级回路上，一部分能量损耗在回路上。次级回路继续振荡，并反客为主，带动初级回路振荡，以相同的方式把刚才得到的能量还给初级回路。但又一部分能量损耗在回路上，如此反复(见原理演示图)，直到损耗掉大部分能量。打火器两端电压和电流都不足后，打火器等效断开，由外部电源继续给主电容充电。充电过程要比放电过程长得多，大概在 3~10 毫秒左右。所以特斯拉线圈放电频度都在每秒 100 次以上，也使肉眼看上去为连续放电效果。

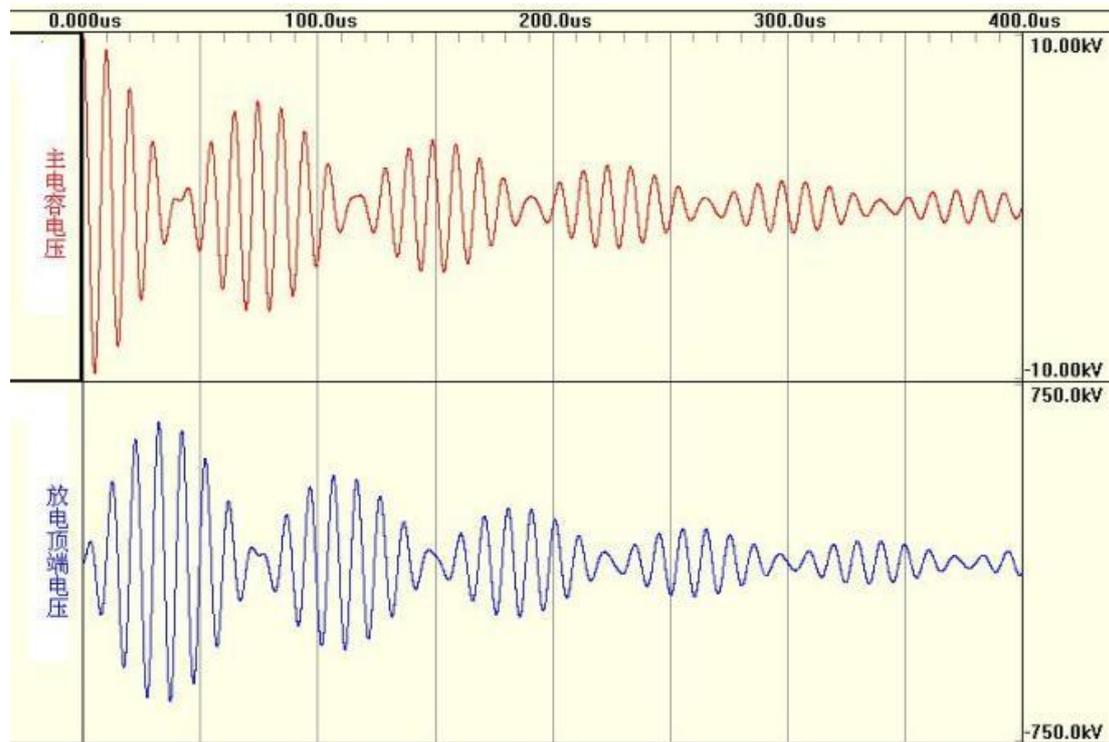
原理演示图：



(本图引自网络, 作者佚名)

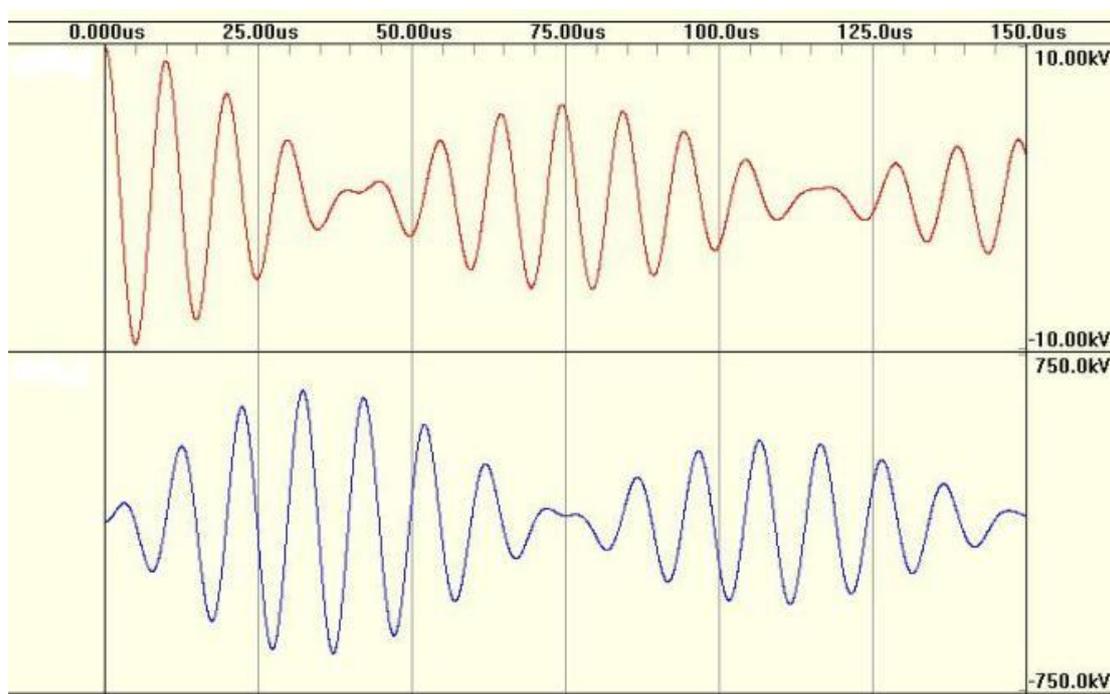
上面这张形象地描述了特斯拉线圈工作时的能量传递过程, 为了更进一步了解变化的快慢,

下面从波形仿真角度来看电压的变化过程:



(本图引自网络, 作者佚名)

进一步放大比较:



(本图引自网络, 作者佚名)

## 谐振定义:

在物理学里, 有一个概念叫共振: 当策动力的频率和系统的固有频率相等时, 系统受迫振动的振幅最大, 这种现象叫共振。电路里的谐振其实也是这个意思: 当电路的激励的频率等于电路的固有频率时, 电路的电磁振荡的振幅也将达到峰值。实际上, 共振和谐振表达的是同样一种现象。这种具有相同实质的现象在不同的领域里有不同的叫法而已。(说个易懂的, 当两个振动频率相等的物体, 一个发生振动时, 引起另一个振动的现象叫做共振, 在电学中, 两个等频振荡电路的共振现象, 叫做谐振。)

## 电磁振荡 LC 回路

(L: 电感, C: 电容)

电磁振荡 LC 回路

能产生大小和方向都作周期发生变化的电流叫振荡电流。能产生振荡电流的电路叫振荡电路。其中最简单的振荡电路叫 LC 回路。

一个不计电阻的 LC 电路, 就可以实现电磁振荡, 故也称 LC 振荡电路。

LC 振荡电路的物理模型满足下列条件: ①整个电路的电阻  $R=0$  (包括线圈、导线), 从能量角度看没有其它形式的能向内能转化, 即热损耗为零. ②电感线圈 L 集中了全部电路的电感, 电容器 C 集中了全部电路的电容, 无潜布电容存在. ③LC 振荡电路在发生电磁振荡时不向外界空间辐射电磁波, 是严格意义上的闭合电路, LC 电路内部只

发生线圈磁场能与电容器电场能之间的相互转化，即便是电容器内产生的变化电场，线圈内产生的变化磁场也没有按麦克斯韦的电磁场理论激发相应的磁场和电场，向周围空间辐射电磁波

振荡电流是一种频率很高的交变电流，它无法用线圈在磁场中转动产生，只能是由振荡电路产生。

其工作流程为：

充电完毕（放电开始）：电场能达到最大，磁场能为零，回路中感应电流  $i=0$ 。

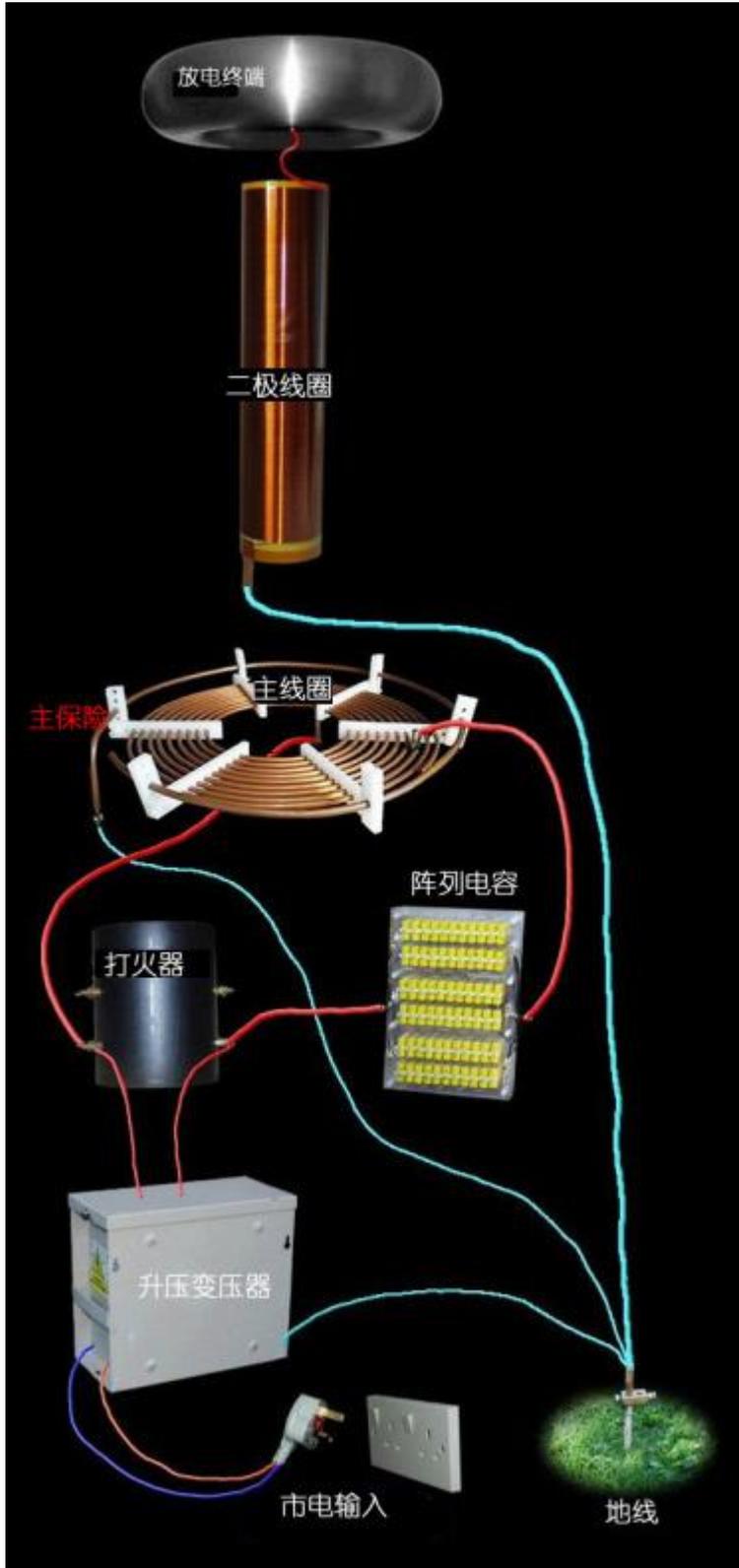
放电完毕（充电开始）：电场能为零，磁场能达到最大，回路中感应电流达到最大。

充电过程：电场能在增加，磁场能在减小，回路中电流在减小，电容器上电量在增加。从能量看：磁场能在向电场能转化。

放电过程：电场能在减少，磁场能在增加，回路中电流在增加，电容器上的电量在减少。从能量看：电场能在向磁场能转化。

在振荡电路中产生振荡电流的过程中，电容器极板上的电荷，通过线圈的电流，以及跟电流和电荷相联系的磁场和电场都发生周期性变化，这种现象叫电磁振荡。

## 实物连接图：



(本图引自网络，作者佚名)

(上图仅仅作为参考, 实际制作, 可能有些部件与图中的不一样)

## 特斯拉线圈的种类

### SGTC=火花隙特斯拉线圈

尼古拉·特斯拉先生本人当年发明的“特斯拉线圈”就属于 SGTC。由于构造、原理较为简单, 所以也是现阶段初学者入门特斯拉线圈。

### SSTC=固态特斯拉线圈

### VTTC=真空管特斯拉线圈

### DRSSTC=双谐振特斯拉线圈

### OLTC=离线式特斯拉线圈

### SISGTC=触发二极管-IGBT-火花间隙特斯拉线圈

(在本教程中主要讲 火花隙特斯拉线圈 制作)

## 开始制作特斯拉线圈

### 选材:

**次级线圈的骨架:** 建议用 PVC 管制作, 这个东西在生活中容易得到, 可以从当地的建材市场买到。

**漆包线 (绕制次级线圈):** 这个根据设计去买, 可从当地的电子市场去买, 就是修电机用的那种。他们是按照公斤买的, 如果遇到了按照“米”卖的, 就别买了, 那是宰人呢~~

**对地电容:** (次级线圈上面的那个顶端): 可以用铝制通风管去做, 可在当地卖抽油烟机或燃气热水器的地方买到。中间可以用铁皮固定 (后面制作的时候详讲)。

**初级线圈:** 建议用铜管制作, 在当地卖制冷设备的地方就有 (高频电流有趋肤效应)。

**初级线圈骨架:** 用亚克力板制作, 或者用 PPR 管制作, 不过在加工的时候, 比较麻烦。

**谐振电容器:** 有条件的可以去买 美国 CDE 电容, 941 的, 这种电容性能好, 但是较贵, 一般一只在 10 元左右, 不是很经济。建议用电磁炉电容, 这种电容可以说是性价比已经无敌了, 一只在 1.3 元左右, 正品性能还好。至于 CBB 电容, 薄膜电容, 这些不适合做特斯拉线圈, 特斯拉线圈一运转, 用不了一会就全废了 (当时我用 CBB 电容实验的时候, 1 分钟之内全死了, 至于高压薄膜电容, 我没有实验过, 从网上可以看到那个东西在谐振中故障掉的视频), 微波炉电容, 这个东西耐压是高, 但是不适合谐振, 接到电路中去, 会因为过热发生爆炸的, 不要去用。

**变压器:** 这个东西的选购很重要, 刚开始玩, 可以用两个微波炉变压器串联使用, 电压 4200V, 如果启动特斯拉线圈后, 打火机不能打火, 可以用二倍压整流电路 (在后面详讲) 得到  $4200V \times 2 \times 1.41$  的电压 (相对便宜些)。也可以去订做高压变压器, 220V 升至 12000V 的, 功率根据特斯拉线圈设计而定 (贵)。铁芯霓虹灯变压器, 功率一般在 450W 左右, 功

率偏小，15000V 输出，一台在 300 块钱左右（贵）。

**火花隙(打火机):** 打火机其实相当于一个开关，未打火时能量由变压器传递到电容阵，当电容阵充电完毕时两极电压达到击穿打火中的缝隙的电压时，打火机打火，此时电容阵与主线圈形成回路，完成 L/C 振荡，进而将能量传递到次级线圈。



(图片来源 科创会员: 咸鱼超人)

做这个可以用静电极打火或旋转电极打火，静电极打火，可以用铜鼻作放电电极，但是这种火花隙不适合长时间工作，时间长了，电极烧热，导致火花隙空气被电离，出现等离子火焰（连续电弧），造成变压器短路，LC 回路停振，特斯拉线圈停止工作（而旋转火花隙就可以很好的解决这个问题）。

制作旋转火花隙需要一个电动机（可以选冷柜的散热电机，60W 左右适中），一个转盘（这个东西可以把胶木板裁成圆的去做），多个电极（用螺丝做吧，便宜），旋转火花隙的电极一直在转动，电极在旋转过程中依次放电，避免过热，适合长时间工作。

（我并不认为旋转火花隙是主动火花隙，因为它的旋转并不能帮助间隙放电，还是要电压到了放电阈值才会击穿空气放电，旋转只是起到了强制灭弧的作用，电极飞快的远离，关断电弧）

**其他材料:** 木板，亚克力板，以及其他材料（根据你的构思决定，这些东西是用来固定装置部件用的），电线。

**所需工具:** 手钳子，螺丝刀，钢锯，手枪钻，等等~（有条件的朋友，最好买个电容电感表，测量初级，次级的电感量，电容量）

## 设计&制作:

文中涉及到的参数均为与图片匹配的参考数据，不要仿制！

## 设计次级线圈:

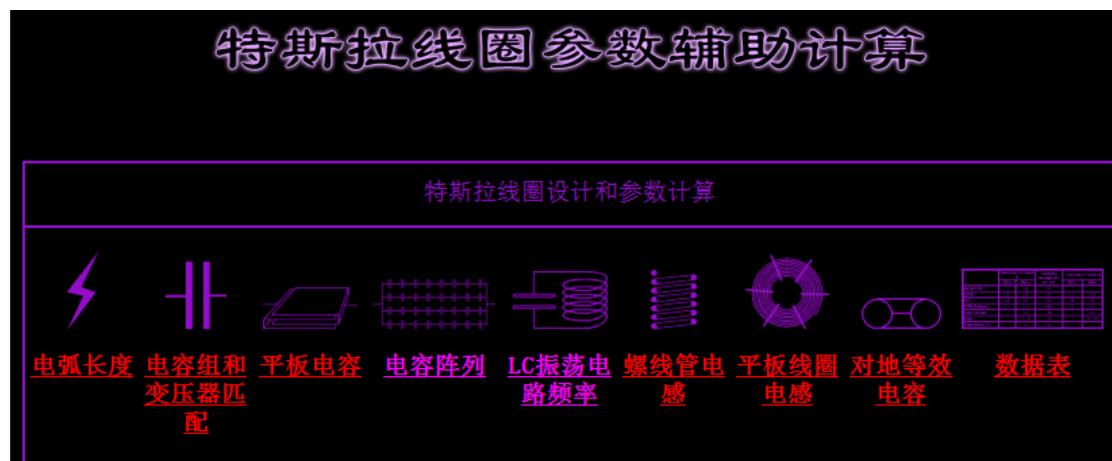


(本图引自网络，作者佚名)

先在自己的大脑里大概想象一下，打算做的特斯拉线圈次级体积多大（次级的直径和高度，PVC管常见直径有5厘米，7.5厘米，10厘米，15厘米，20厘米，25厘米，31厘米的几种规格），选用漆包线规格0.23mm，0.31mm，0.41mm，0.51mm（漆包线规很挺多，在这里就不一一列举了），一般次级线圈在1500~1800匝左右。

现在开始设计设计

进入 <http://bbs.kechuang.org/tool/tc>



(科创论坛截图)

这是个特斯拉线圈辅助计算网站，进去后，到螺线管线圈电感 计算板块

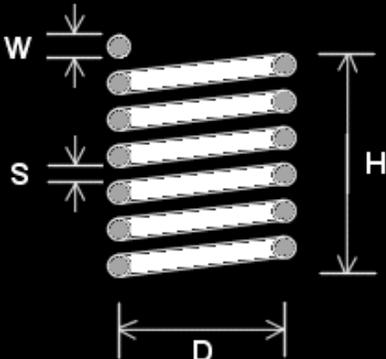
### 螺线管线圈:

单位:  英寸  毫米

螺线管直径(D):	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="mm"/>
线圈匝数(N):	<input type="text" value="1500"/>	
绕线线径 (W):	<input type="text" value="0.21"/>	<input type="text" value="mm"/>
匝间距(S):	<input type="text" value="0.01"/>	<input type="text" value="mm"/>

\*将光标用TAB键移动到下一个字段, 更新结果

螺线管高度(H):*	<input type="text" value="330"/>	<input type="text" value="mm"/>
漆包线长度:	<input type="text" value="471.238"/>	<input type="text" value="metre"/>
电感量(L):*	<input type="text" value="59055.118"/>	<input type="text" value="uH"/>
(寄生电容:	<input type="text" value="5.994"/>	<input type="text" value="pF)"/>



$$L = \frac{N^2 \times R^2}{9R + 10H}$$

$$\left( R = \frac{D}{2} \right)$$

电感和寄生电容容量, 以及漆包线长度.

将光标用TAB键移动到下一个字段, 更新结果.

(科创论坛截图)

用这个算出次级线圈的一些数据, 上图算出的是一个电感量为 59.055118mH (毫亨) 的次级线圈, 漆包线覆盖部分的长度 330 毫米, 也就是 33 厘米, 次级线圈骨架最好取 40 厘米左右。至此, 次级线圈设计完毕。

注:

电感单位换算:

1H=1000mH=1000000  $\mu$  H

1mH=1000  $\mu$  H

(有条件的朋友可以购买一个电容、电感表, 制作完后, 测量次级线圈的电感量, 更准确些)

### 次级线圈的绕制:

制作次级的时候, 第一匝决定整个次级绕线的质量, 不要绕偏。用木板或有机玻璃制作两个圆盘用来穿在圆筒 (如 PVC 管) 两边, 再在圆盘中间打眼, 穿入中心轴, 架到线架子里面就可以绕线了 (可以把钢筋穿进去, 然后两边架上凳子)。



(本图引自网络，作者佚名)

固定圆筒两端的圆盘，要坚固（有时候，可以用光盘代替；把板材加工成圆的，挺费力的，可以用其他的形状，只要能达到目的就行）



(本图引自网络，作者佚名)

类似这样。

如果不做支架，用手绕也可以的，只不过速度要慢许多。

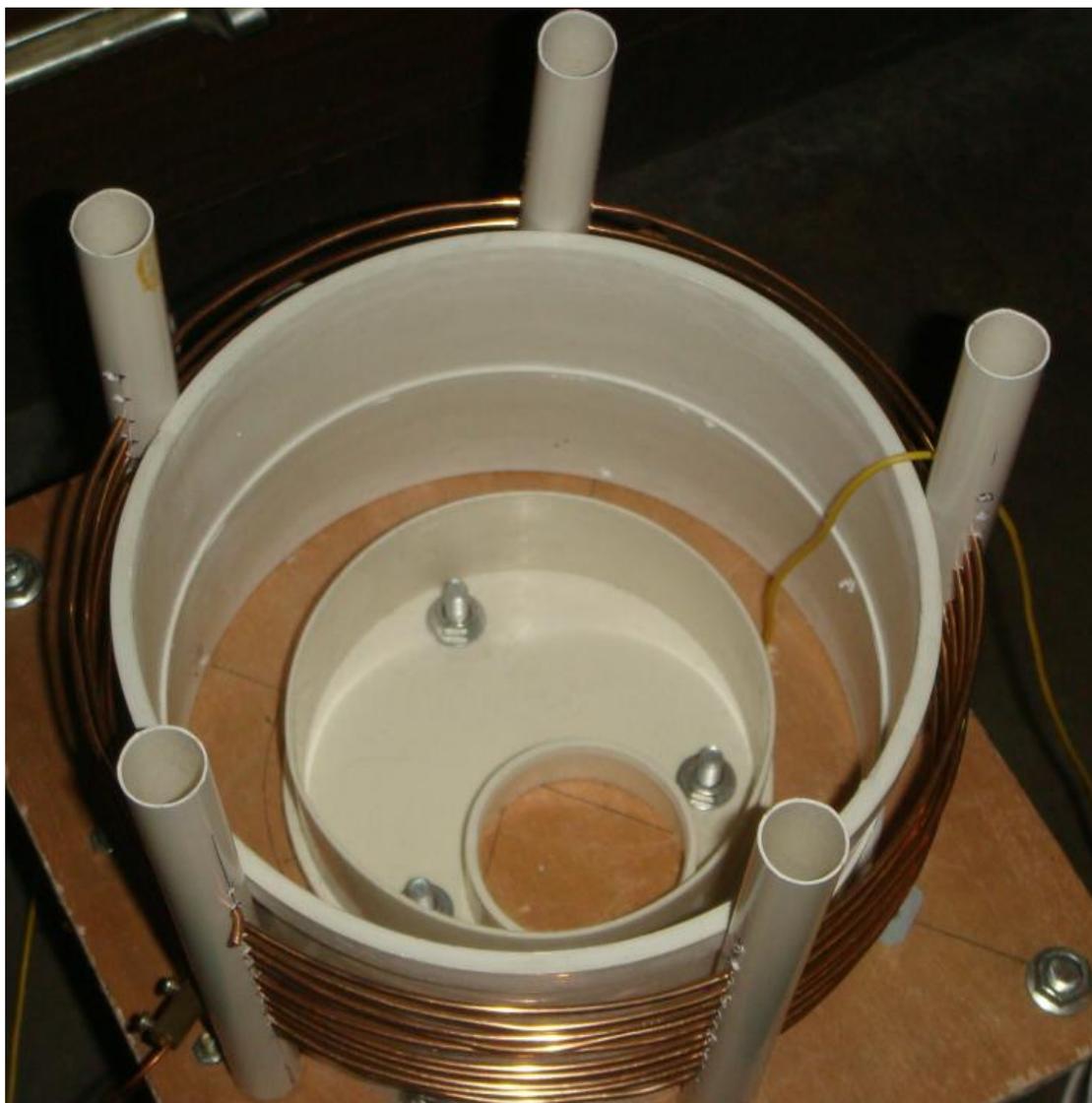
绕线的时候，不要将漆包线漆皮划破，也不要匝和匝重叠上，如果不能一次性的绕完次级线圈，要将漆包线用胶带粘住，以免脱匝。绕制完成后，浸入环氧树脂，进行绝缘。（环氧树脂较贵，可以用电机用的绝缘漆，那个便宜，11元可以买来一罐）

次级的固定：



（图片来源 科创会员：山猫）

次级的底端用这样的管件固定上，粘牢。



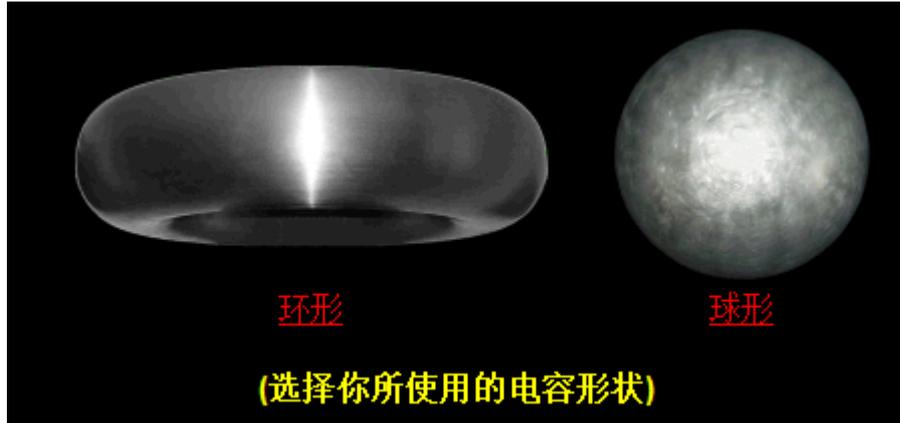
(图片来源 科创会员: 山猫)

将大转小的管件置于大小合适的木板上(将来作为底座用),用螺丝固定,然后就可以把次级坐到上面去了,挺牢固的。

次级线圈的固定,的确是个有点头疼的问题,要考虑拆装方便,还要保证不要让次级线圈不稳定,在底板上打洞进行固定,这个方法是可以的,但是对于业余玩家,在木板上或者是有机玻璃板上掏个大洞,而且重心要正,还要远,是个挺大的工程(可以花钱去做,有必要吗?),用上述的方法,可行性挺大的。

## 设计顶端(对地等效电容):

常用的顶端可分为环形顶端,球形顶端,可根据需要或个人喜好自行选择。



(科创论坛截图)

下面先讲环形顶端对地等效电容的计算，如下图

**环形电容器计算:**

单 ● 英寸  
位: ● 毫米

D1 :  mm

D2 :  mm

\*将光标用TAB键移动到下一个字段，更新结果

$$C = 2.8 \times \left( 1.2781 - \frac{D2}{D1} \right) \times \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times (D1 - D2) \times \left( \frac{D2}{2} \right)}{4 \times \pi}}$$

C = :  pF (PI = 3.14159)

计算环形电容的容量

将光标用TAB键移动到下一个字段，更新结果。

(科创论坛截图)

上述的环形电容器容量为  $13.052\text{pF} = 0.000013052 \mu\text{F}$

**球形电容容量计算:**

单位:  英寸  毫米

半径R:

**C = :**  pF

$C = \frac{K \times R}{9 \times 10^9}$

K = 1.01 (dielectric constant)

球形电容器的容量计算。  
将光标用TAB键移动到下一个字段，更新结果。

(科创论坛截图)

计算球形电容器，只需要输入球体的半径即可。

#### 注:

电容器容量单位换算：

$$1\text{F}=1000\text{mF}=1000000 \mu \text{F}$$

$$1 \mu \text{F}=1000\text{nF}=1000000\text{pF}$$

$$1\text{nF}=1000\text{pF}$$

(有条件的朋友可以用电容表测量顶端的电容量，将顶端用绝缘物体支起了，然后将电容表打到 pF 档位，电容表的黑表笔接地，红表笔接到顶端上，等到电容表的数字稳定了，读出，记录下来即可)

#### 顶端制作:

球形顶端，无需制作，能买到成品的不锈钢球，我们主要讨论环形顶端制作。  
买到铝制通风管，铝箔胶带（一般买铝制通风管的地方就有，买制冷设备的地方也有）



(本图引自网络, 作者佚名)

将铝制通风管做成环状, 接头用铝箔胶带粘上即可。中间可以用任意方法进行固定。  
下面看上几种, 作为参考



(本图引自网络, 作者佚名)



(本图引自网络, 作者佚名)

用现成的金属盘固定(这种金属盘不太好找, 并且价格贵)

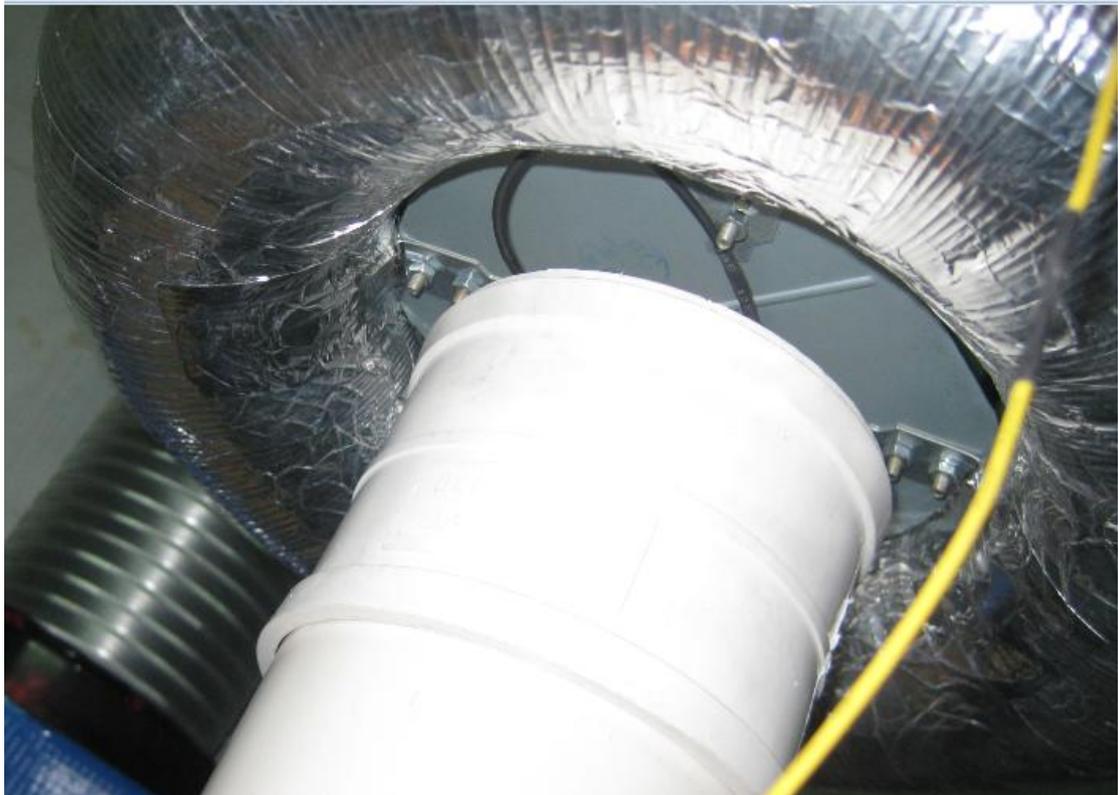


(图片来源 科创会员: sukeytang)

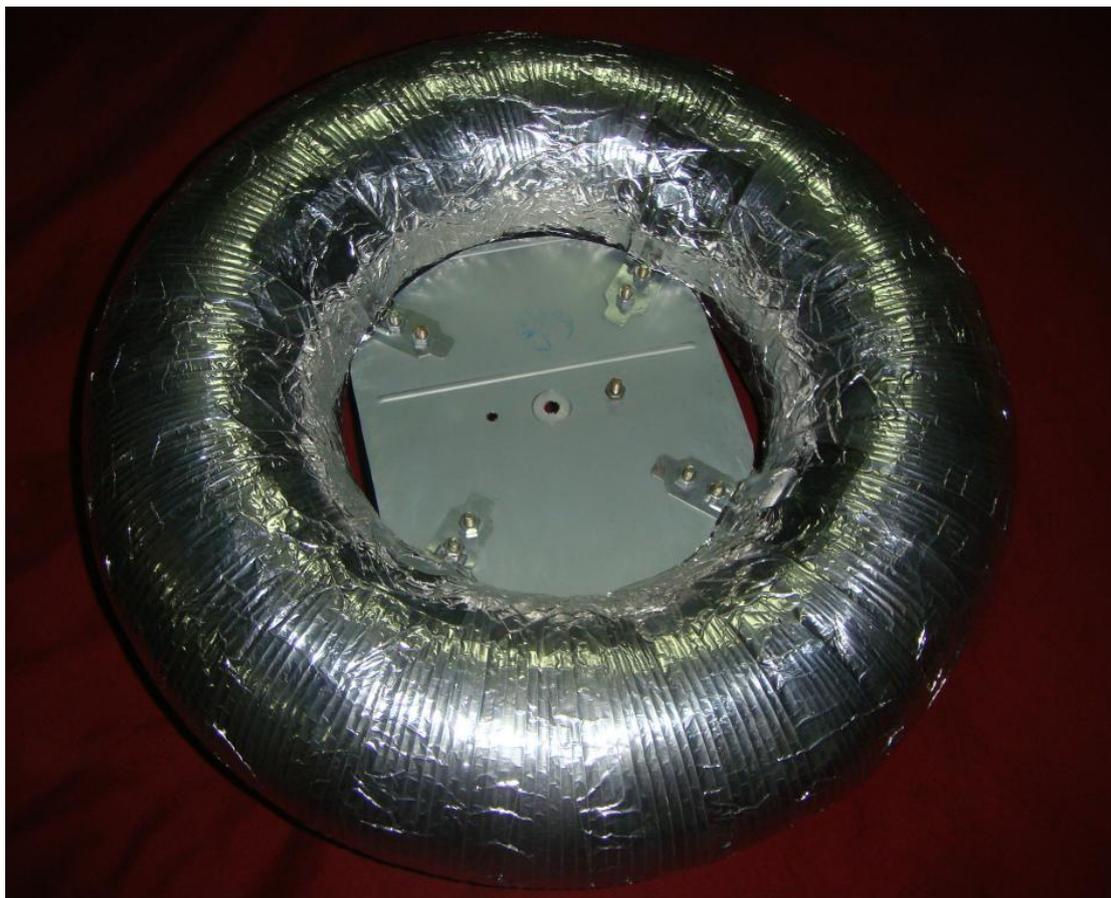
用塑料饭盒进行固定(价格低,材料好找)



(图片来源 科创会员: 山猫 )



(图片来源 科创会员: 山猫 )



（图片来源 科创会员：山猫）

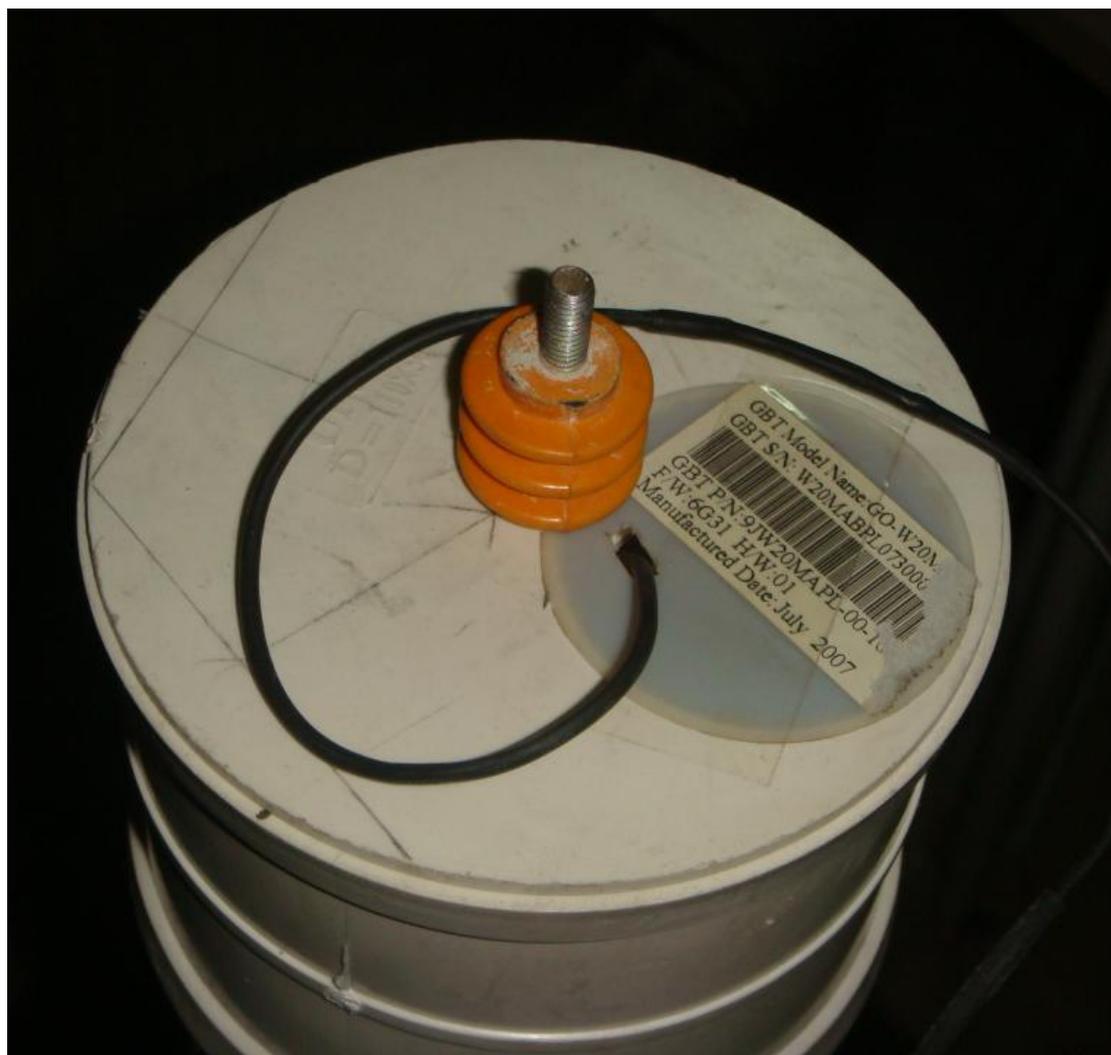
用铁皮进行固定（需要进行加工，材料容易找，可以到废品收购站找到，价格中等，加工的时候，**注意不要把手划伤**）

## 顶端固定：



（图片来源 科创会员：山猫）

用 PVC 管箍固定次级两端（用 PVC 胶粘住），找堵头或者是大变小的管件，将次级顶端盖住（这个不要固定死）。



（图片来源 科创会员：山猫）

找到盖子的圆心，打眼，把绝缘子上进去（两头带螺丝呢那种）。



(图片来源 科创会员: 山猫 )

做成这样，然后把顶端安装上去，别忘了把次级的线也要接到顶端上的。

(这个问题,我也考虑了一段时间,尤其是如何将铝制通风管做的圆环固定到次级上面,用木板随便架上,是可以,但是这样不太稳定,也不美观,上述的方法,还可以,不过加工铁皮倒是挺费劲的~~,朋友们在设计的时候,可以根据周围的情况,找到适合的材料,动手做吧!)

## 计算次级谐振频率:

上面已经算好了次级线圈的电感量和对地等效电容的电容量了,现在就开始计算电 LC 振荡电路的谐振频率

次级电感量: 59.055118mH

对地等效电容容量: 0.000013052  $\mu$ F

**LC谐振电路频率计算:**

电感量 (L):  mH

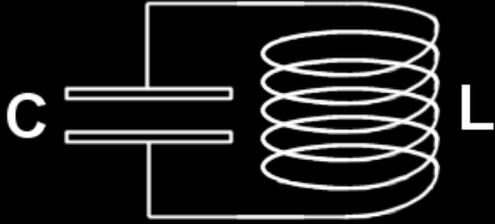
电容量 (C):  uF

---

谐振频率(F):  kHz

\*将光标用TAB键移动到下一个字段，更新结果

LC谐振电路的频率，可通过电容量和电感量计算。  
将光标用TAB键移动到下一个字段，更新结果。



$$F = \frac{1}{2 \times \text{PI} \times \sqrt{L \times C}}$$

(PI = 3.14159)

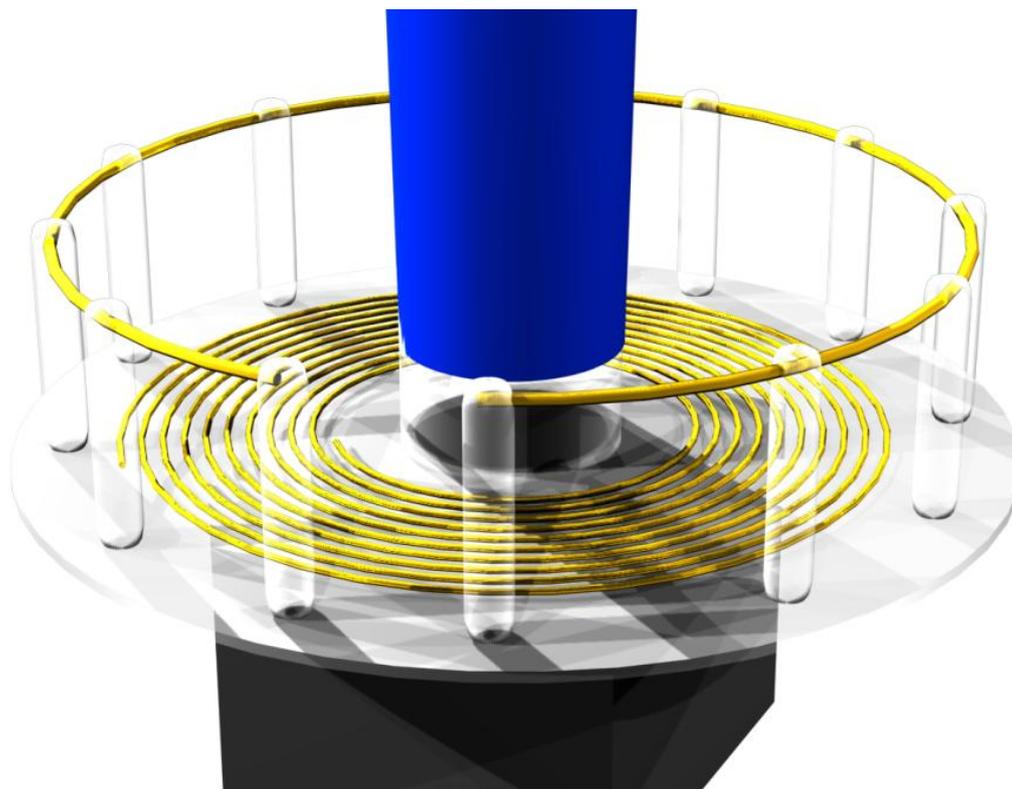
(科创论坛截图)

计算得知，这个次级谐振频率为 181.281kHz (千赫兹)。

好了，次级 LC 振荡频率算好了，就开始设计初级线圈。

## 设计初级线圈:

平板线圈



(图片来源 科创会员 yz710804695)



(本图引自网络，作者佚名)



(图片来源 科创会员：山猫)

### 螺线管线圈

初级线圈可以用平板线圈也可以用螺线管线圈，螺线管线圈的耦合系数高，用于火花隙特斯拉线圈的时候，有时会造成初级线圈和次级线圈之间放电打火，制作火花隙特斯拉线圈建议使用平板线圈，平板线圈耦合率低，一般不发生初级和次级线圈的打火现象。现在就开始设计，市面上容易买到的铜管规格有（铜管直径）6mm，8mm，9mm，1cm，等等，根据以上计算的次级线圈，选用6mm的，在设计的时候，把电感的余量留的大些，之后调谐的余地大些

**平面螺旋线圈计算:**

单位:  英寸  毫米

线圈内径(DI):  mm

线圈匝数(N):

线经(W):  mm

匝间距(S):  mm

\*将光标用TAB键移动到下一个字段, 更新结果

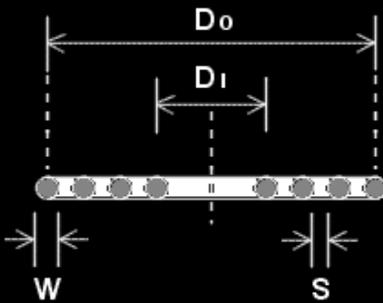
线圈外径(Do):\*  mm

电线长度:  metre

电感量(L):\*  uH

平面螺旋线圈的电感量计算以及绕线所需的电线长度

将光标用TAB键移动到下一个字段, 更新结果



$$L = \frac{N^2 \times A^2}{30A - 11D_i}$$

$$\left( A = \frac{D_i + N(W+S)}{2} \right)$$

(科创论坛截图)

上图所计算的初级线圈  $24.154 \mu\text{H} = 0.024154\text{mH}$  , 需要用 8.249 米的铜管, 匝数 13 匝, 铜管的直径 6mm, 间距 8mm, 线圈的内径 20cm, 在实际制作的时候, 建议用 15~16 匝制作, 留余地呢, 这样调试的时候好弄些, 因为计算的结果永远都是理想状态下的, 给设计的线圈匹配电容阵列的时候, 往往从市面上找不到百分百合适的, 这时候, 就需要调整电感了, 所以要留余量。

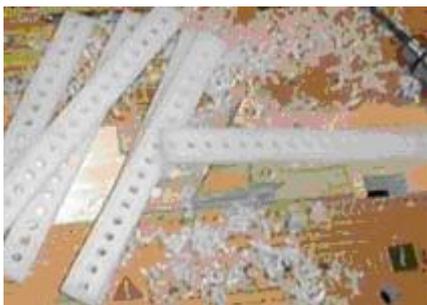
## 制作:

### 平板线圈制作:



(本图引自网络, 作者佚名)

先把铜管盘成蚊香状，尽量盘的光滑。

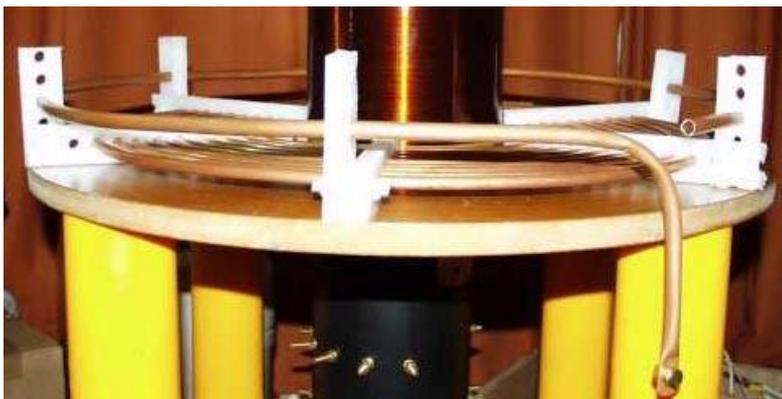


(本图引自网络，作者佚名)

塑料支架，将亚克力板加工成图中的样子（这样加工，比较费时间，可以用 PPR 管做支架，如果用 6 毫米规格的铜管，就打 7 毫米的孔，孔的大小比铜管要粗些呢，否则穿的时候，很费劲的）



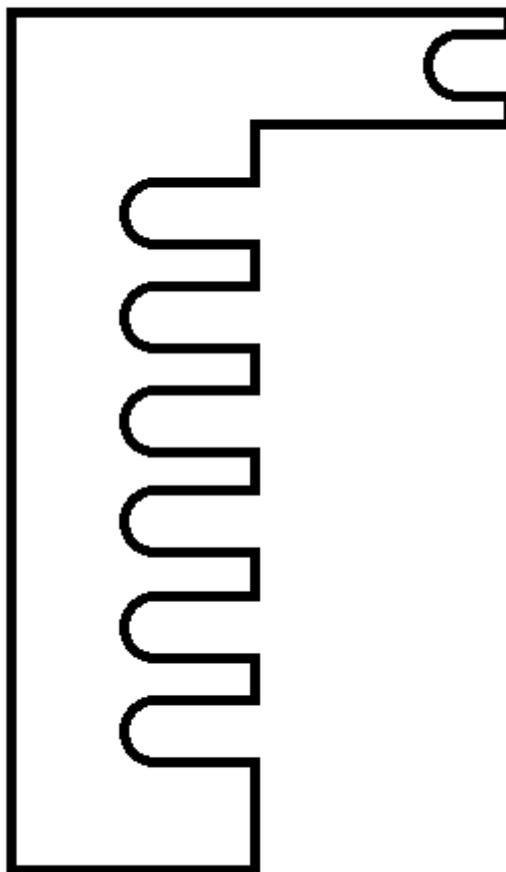
(本图引自网络，作者佚名)



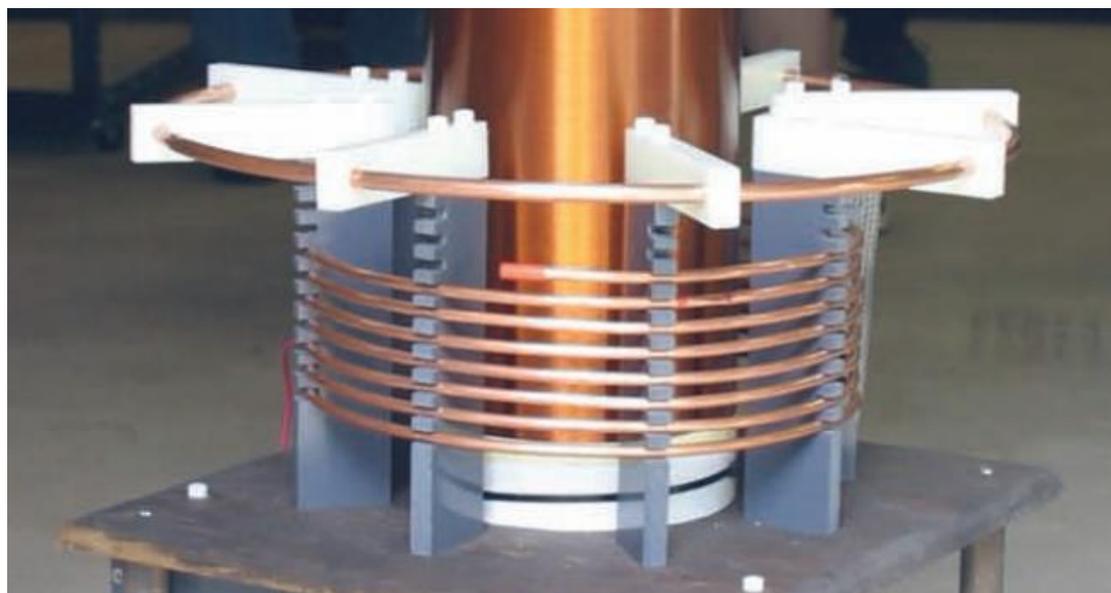
(本图引自网络，作者佚名)

再找一截铜管做为接地保险（防止电弧打在初级线圈上），注意，不可闭合！如图

### 螺线管线圈制作



将板材加工成图中的样子，制作上6片或8片，然后向这样固定上，再缠上铜管。做这个，板材要厚，至少1厘米厚。



(本图引自网络，作者佚名)

## 电容阵列设计：

现在设计电容阵列，已知了谐振频率，就开始计算电容阵列的容量  
谐振频率 181.281 KHz

**LC谐振电路频率计算：**

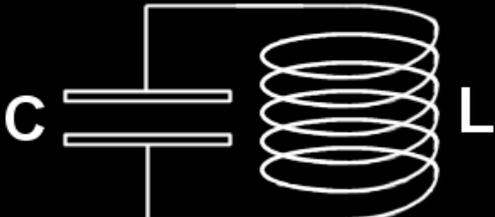
电感量 (L):  mH

电容量 (C):  uF

---

谐振频率(F):  kHz

\*将光标用TAB键移动到下一个字段，更新结果



$$F = \frac{1}{2 \times \text{PI} \times \sqrt{L \times C}}$$

( PI = 3.14159 )

LC谐振电路的频率，可通过电容量和电感量计算。  
将光标用TAB键移动到下一个字段，更新结果。

(科创论坛截图)

计算可以得知，保证初级谐振频率在 181.281KHz 的时候，电容阵列需要 0.0319133  $\mu$ F，但是组这样一个非常合适的电容阵列。

市面上可以买到的电磁炉谐振电容的规格有 1200V 0.27  $\mu$ F ， 1200V 0.3  $\mu$ F ， 1200V 0.33  $\mu$ F 等等，推荐正品“创格”和“丰明”的电磁炉谐振电容挺好的，市场价格约为 1.3~1.5 元一个，有的地方买 2 元一个，现在就用 1200V 0.3  $\mu$ F 的电容设计电容阵列，设计的时候，耐压取电源电压的 3 倍以上。

**电容组设计:**

单个电容参数:

电容量:  uF

耐压:  V

---

电容组设计:

串联数量:  ▲▼

并联数量:  ▲▼

---

电容组参数:

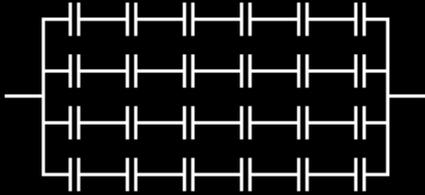
电容量:  uF

耐压:  V

总电容个数:

计算电容组的参数，设计电容组的时候，耐压最好取主变压器输出电压的3倍以上。

将光标用TAB键移动到下一个字段，显示结果。



(科创论坛截图)

电容阵列计算参数如图，总耐压 34800V，电容量 0.031  $\mu$ F，需要电容器的个数 87 个，用 29 个电容器串联，4 列并联，用的单个电容的规格是 1200V 0.3  $\mu$ F 的。这样设计的电容阵列，肯定不能完全和初级线圈匹配，按照现在的参数计算下来，如下图：

**LC谐振电路频率计算:**

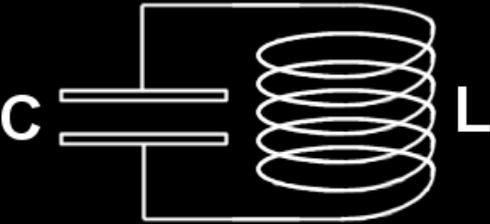
电感量 (L):  mH

电容量 (C):  uF

---

谐振频率(F):  kHz

\*将光标用TAB键移动到下一个字段，更新结果



$$F = \frac{1}{2 \times \pi \times \sqrt{L \times C}}$$

(PI = 3.14159)

LC谐振电路的频率，可通过电容量和电感量计算。

将光标用TAB键移动到下一个字段，更新结果。

(科创论坛截图)

频率就变成了 183.926KHz 了，特斯拉线圈就失谐了，所以现在就要通过调整初级线圈的电感量，实现让初级和次级的谐振频率匹配，把电感量稍微调大些。(具体调谐后面详讲，可以在都做完之后，一边实验，一边调)

## 制作：

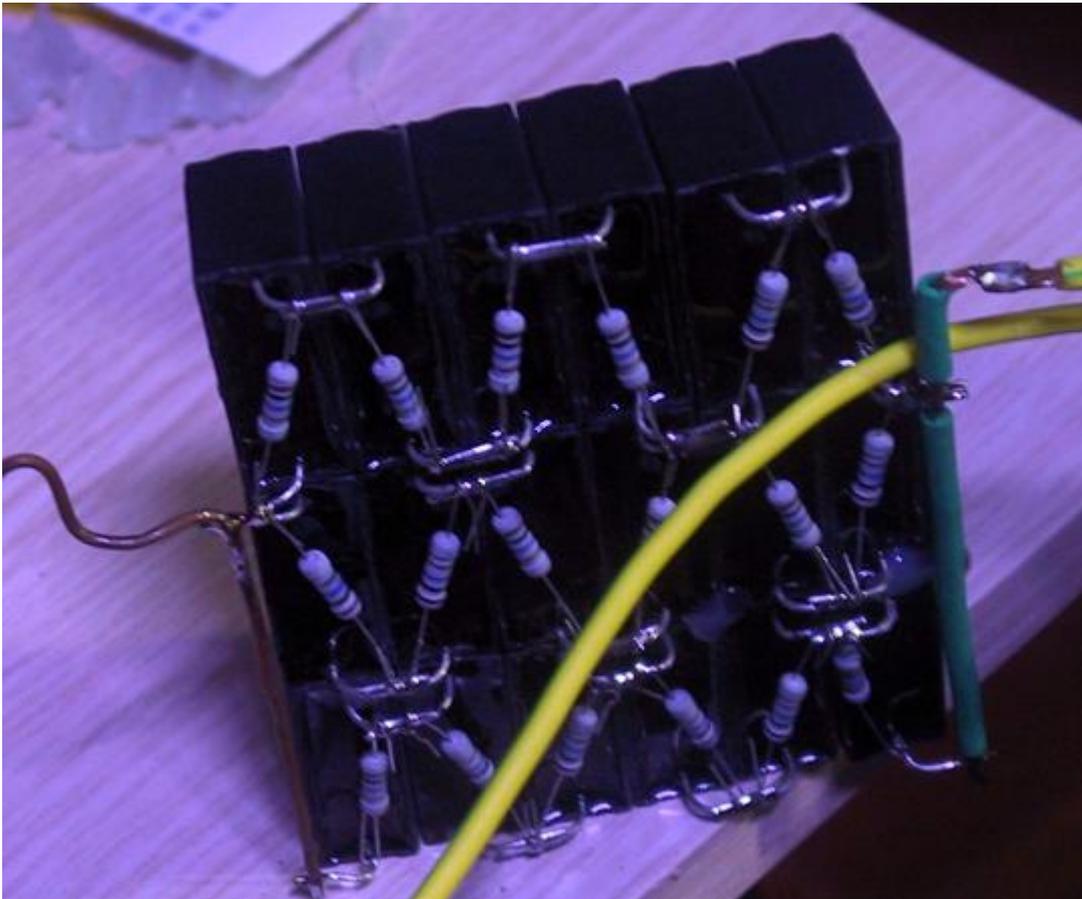
用亚克力板（或者用机玻璃板），制作支架，然后将电容器用尼龙扎线带固定在亚克力板上，先进行串联焊接，注意，要把电阻也加上（电阻并联在每一个电容的两端，起到均压作用，关机后起到给电容组放电作用）。



（本图引自网络，作者佚名）

把每一层做好了，然后固定到支架上，再进行并联的焊接。

下面提供几张图片，作为参考



（图片来源 科创会员：bird\_w）



(图片来源 科创会员: 山猫 )



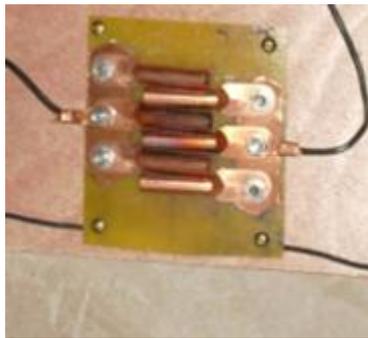
(图片来源 科创会员: 山猫 )

## 打火器设计:

静态火花隙

这个东西,看起来时挺简单的,但是弄起来了,的确是有些麻烦,初次实验,可以用连

个金属杆作为电极，放在绝缘体上（初次实验，放在瓷砖上就可以了，或者放在陶瓷盘子里，家里放菜用的那种就可以），之间留上 0.8~1cm 的间距就可以（这个只适合初次实验）。为了更好的设计，可以使用铜鼻子（铜制电缆接线端子）作为电极。

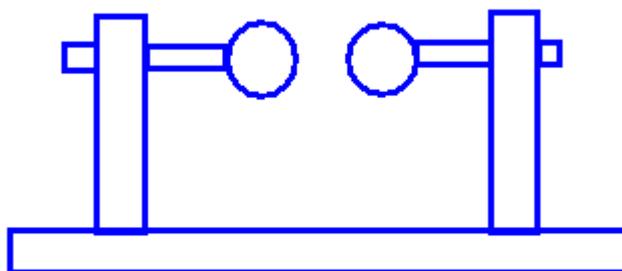


（图片来源 科创会员：咸鱼超人）

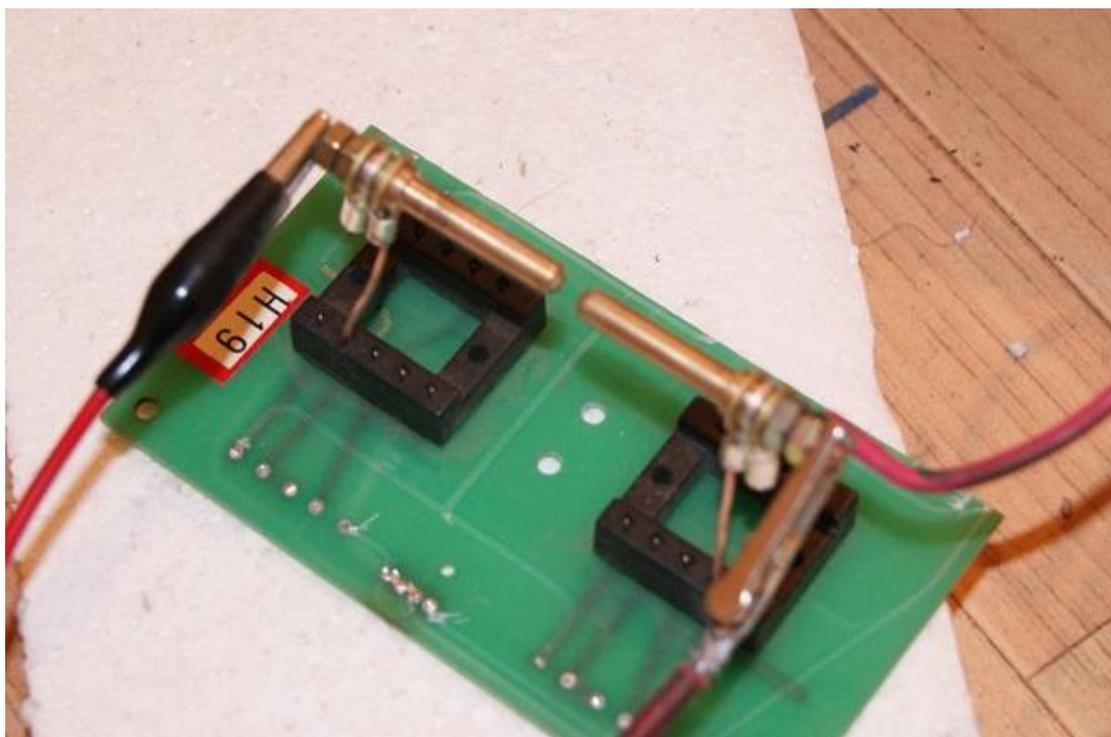


（图片来源 科创会员：dingdingyyo）

就像这样，制作比较方便，容易，材料好找。



也可以用球隙，



(图片来源 科创会员：无所谓)

以上都是静止电极火花隙。

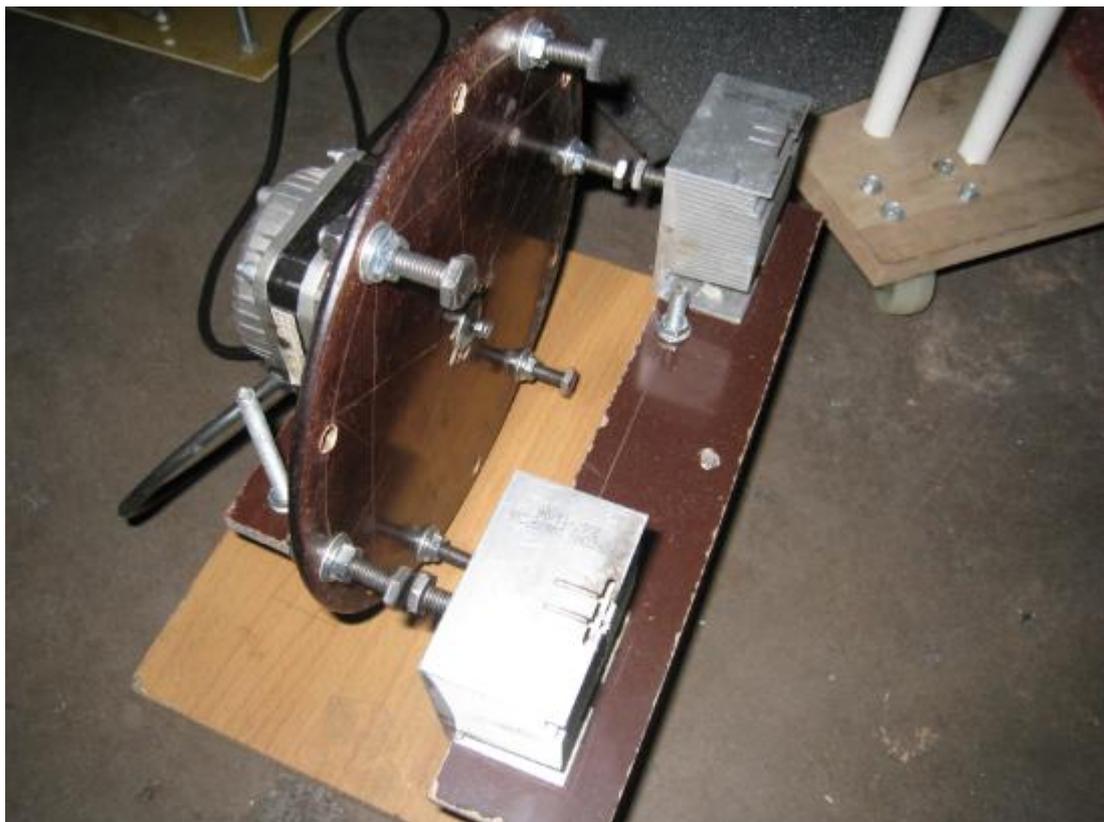
再说说旋转电极火花隙



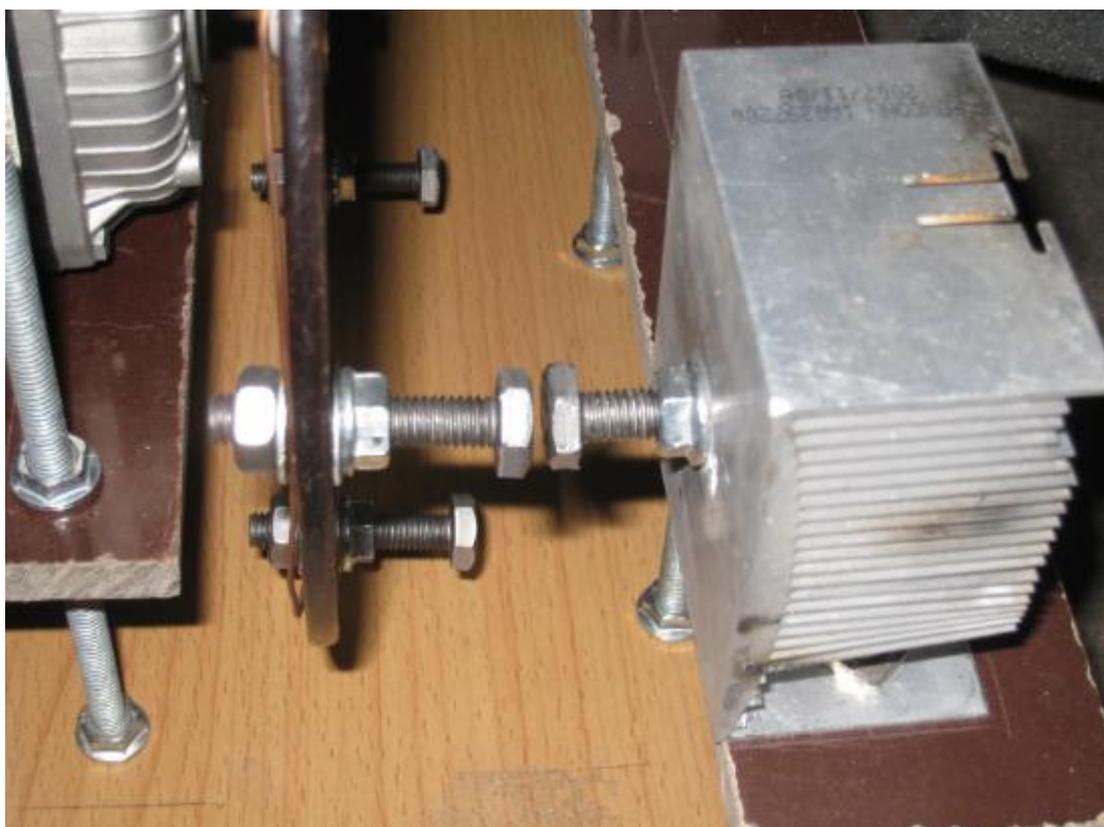
(本图引自网络，作者佚名)

制作旋转火花隙，需要一个电动机，一个转盘，电极多个（可以用螺丝代替），散热器

两个，以及支架等等。



(图片来源 科创会员：山猫 )



(图片来源 科创会员：山猫 ) 上面两个图，是我做的旋转火花隙，可以参考。

我用的是冷柜的散热风扇电动机，40W 的，两个 CPU 的散热器固定静止电极，那个转盘是老式的线轴两边的圆盘，胶木的，用来固定电极，每个电极之间用铜线连接（如果找不到这样合适的圆盘，可以去买胶木板的地方定做，比较贵），火花隙的支架，一定要用绝缘材料。

## 变压器的匹配：

变压器是个关键部件，如果匹配的不好，直接影响特斯拉线圈的效率，甚至导致特斯拉线圈不能启动。变压器匹配，最好要保证交流电在四分之一周期就能给电容器充满电，然后火花隙打火，给特斯拉线圈提供能量。假设现在变压器输出 10000V 150mA，计算一下相匹配的电容阵列最大容量是多少，电容阵列的容量最好不要超过计算得到的值。

**电容组与变压器匹配：**

---

电源频率  50 Hz  
(FL) :  60 Hz

---

电压 (E) :  V  
电流 (I) :  mA

---

\*将光标用TAB键移动到下一个字段，更新结果

---

C = :  uF

---

为了让电容组容量与变压器功率匹配，可以用半波将电容组充电充到最大值

将光标用TAB键移动到下一个字段，更新结

$$C = \frac{10^6}{6.2832 \times Z \times F_L}$$

$$Z = \frac{E}{I}$$

（科创论坛截图）

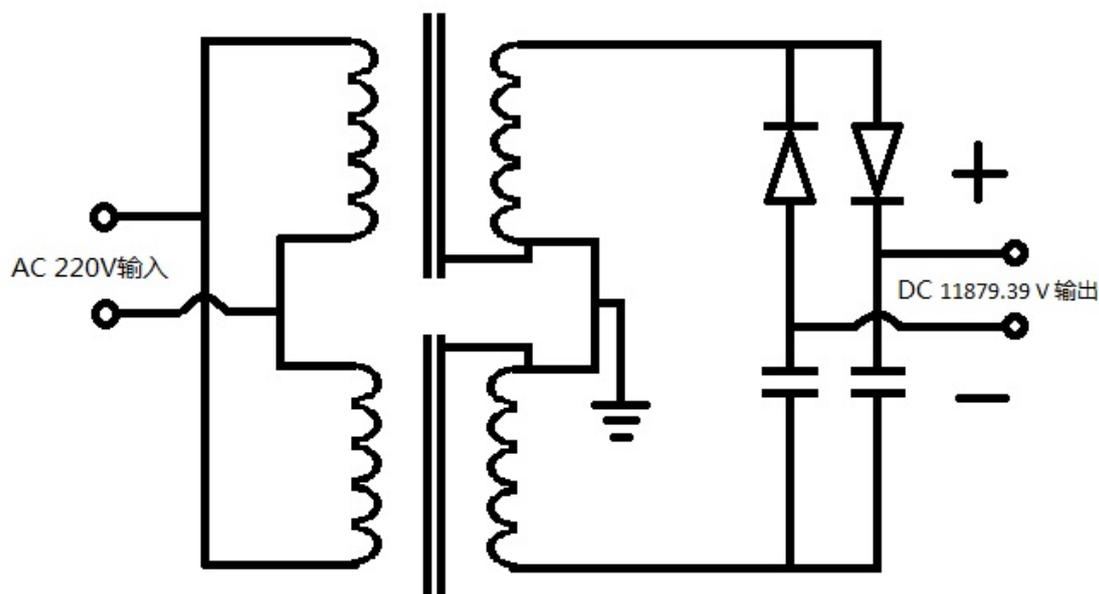
（因为咱们国家的电网使用 50Hz 的交流电，计算的时候，就选择 50Hz）

经过计算，得知输出为 10000V 150mA (由  $P=UI$  得知，变压器功率约在 1500W，设计时候要有余量的)的变压器，匹配的最大电容阵列容量为 0.477  $\mu$ F (自己设计初级谐振回路的时候，就应该去计算这个了)，电容阵列的容量可以小于这个值，但不要过大，否则在四分之一周期内不能把电容器的电充到最大。

## 变压器选择：

这个东西一般买现成的很难买到，可以去订做，AC 10000V 2000W 即可，不过这样成

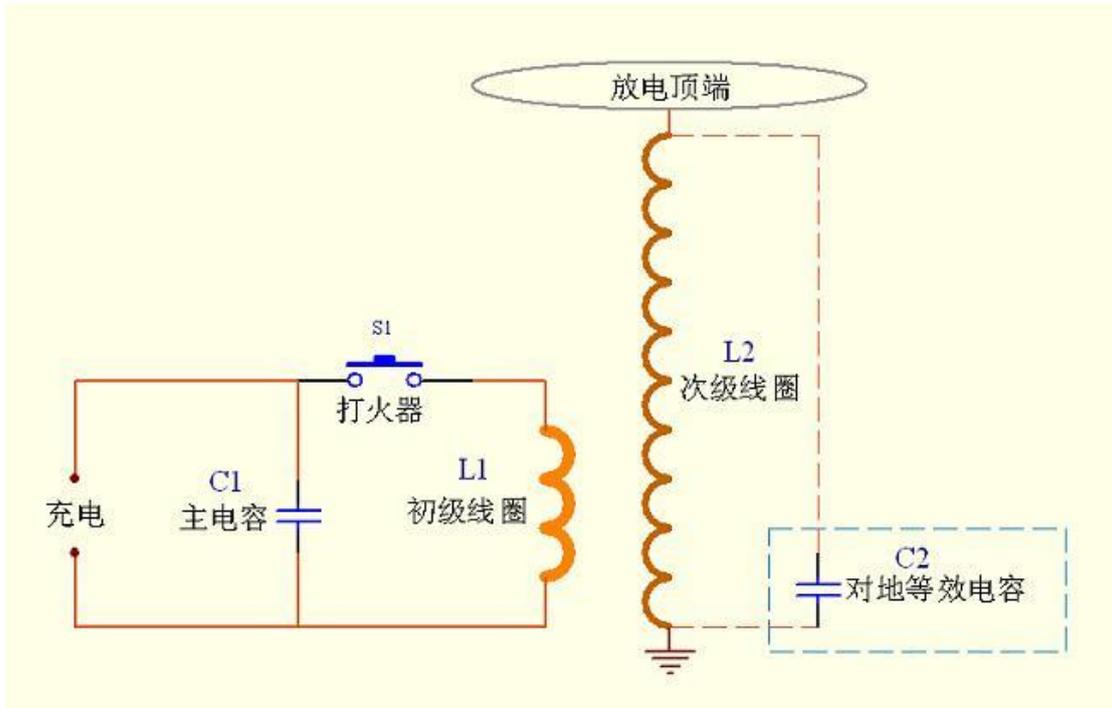
本较高，一个变压器下来，至少要 1000 多元。铁芯霓虹灯变压器也可以的 1500V 450W~500W，只是功率偏小，那个东西也挺贵的，350 以上呢。微波炉变压器是个不错的选择，一个 65 元钱，输出电在 AC 2100V，两个初级反相并联，次级反相串联，这样就可以得到 4200V 的交流电（绝对不能把更多微波炉变压器次级串联使用呢，这样会损坏变压器，导致火灾等等），如果两个微波炉变压器不能让火花隙工作，可以使用二倍压整流电路，得到  $DC\ 4200V \times 2 \times \sqrt{2}$  的电压（约等于 11879.39 V）。



二倍压整流电路接法，用微波炉二极管两个并联使用，每一边的电容用 3 个微波炉电容串联即可。用了倍压整流电路，输出端和 TC 之间要串联电阻（加一个 1000W 电炉子就行了），为了作为电源的缓冲，因为在打火的时候，等效于短路，不加会烧二极管！！

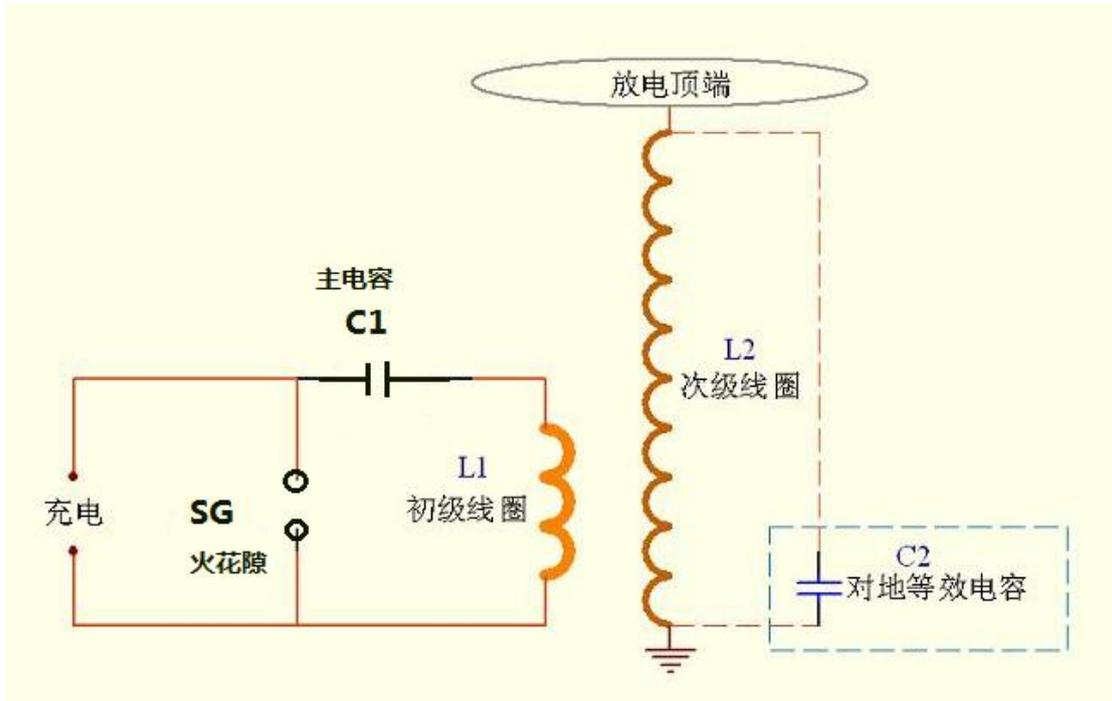
## 电路连接方式选择：

SGTC 的电路连接方式有 在线打火 和 离线打火 两种，如果用交流电直接供电的话，两种都可以的，如果选择了用被压电路升压，给特斯拉线圈供电的，就选择离线打火，为了把电容阵列和倍压整流电容隔离开。



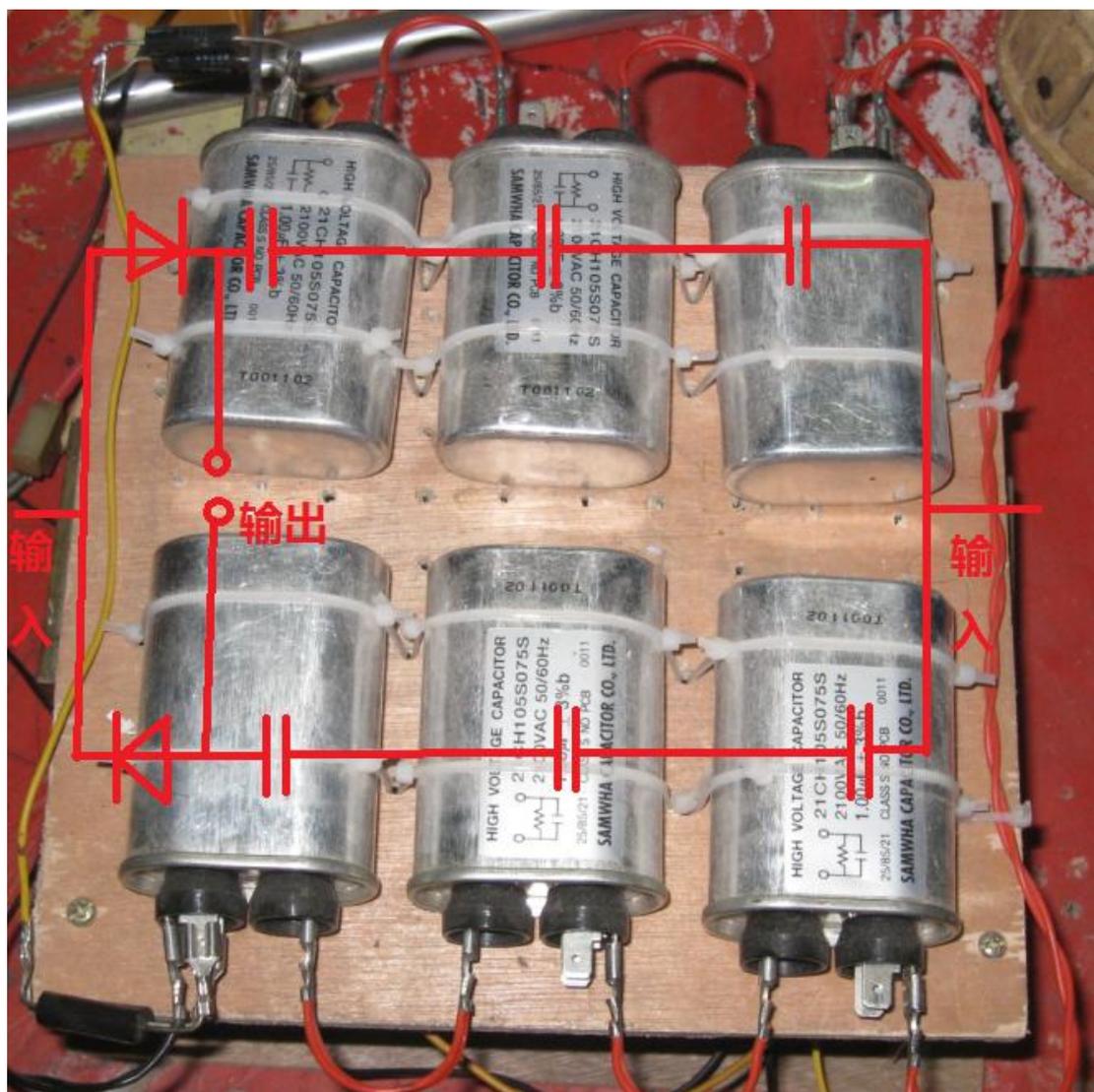
(本图引自网络，作者佚名)

在线式打火，打火的时候，变压器还在给电容器充电，适用于直接使用交流电给电容充电的特斯拉线圈。



(本图引自网络，作者佚名)

离线式打火，打火的时候，变压器等效短路，不再给电容器充电， $L1C1$ 回路独立出来振荡，适合于使用倍压整流的直流电特斯拉线圈(打火的时候不会让电容阵列和倍压整流的电容产生并联关系)，其实这种连接方法适用于任何电源供电的火花隙特斯拉线圈。



(图片来源 科创会员：山猫 )

### 二倍压电路实物图

为了得到更高的驱动电压我们采用倍压整流电路，用直流电给特斯拉线圈供电的时候，可以不用区分正负极。

开始实验:

安全准备:

**千万不要试图触摸通电运作中的高压电设备/电弧, 电容充电后可以在很长一段时间储存足以致命的能量, 在大容量或是高压电容上一定要加上适当的泄压电阻, 并在关机后一段时间才触摸。**

**永远要知道自己是在干什么, 会有什么效果, 盲目试验是安全的最大敌人。**

**一定要保证有一个高度清醒的大脑!!!**

**严禁酒后操作!!!**

**由于实验造成的一切安全事故, 论坛和作者概不负责!!**

1. 如果您身上有**心脏除颤器, 或任何植入/非植入式电子医疗器具**, 请您不要操作任何**高压电设备!**
2. 你对周围的人要大概了解一下, 如果周围有使用**心脏除颤器, 起搏器**的人, **禁止启动特斯拉线圈!!** 特斯拉线圈的电磁干扰很大, 可能会损坏他们使用的装置, 导致死亡!!
3. 确定周围没有**精密仪器设备**, 如果你在**医院**附近或者是在一些**研究所**旁边, **禁止启动特斯拉线圈!!** 可能会干扰他们的设备正常运转。
4. 确保测试区附近的大型金属物件/仪器外壳均已接地, 以防其累积出有危险性的电荷, 如测试区附近有电容器, 请确保测试后立刻放电!
5. 在家玩的话, 注意旁边不要有贵重家用电器, 如果电脑, 打印机, 电视机, 等等~, 以免被劈坏。高压电设备产生的电磁波有可能烧毁电器内敏感的原件, 引致电器失灵/损坏。
6. 确保特斯拉线圈可靠地接地 (绝对不要和用户的地线接上), 地线可以接到金属暖气管上 (小功率特斯拉线圈可以, 大功率的, 必须要有专用地线)。
7. 在以上情况允许之后, 确保自己在安全范围。不要让闪电劈到自己!!
8. 确保供电线路保护机制可靠, 可以在过载或短路的情况下断开电路, (检查进户空气开关是否可靠, 专门给特斯拉线圈的供电线路上安装保险)。
9. 消防安全, 高温的电弧能点燃易燃物料, 测试前请移除测试场附近的易燃物料, 同时放置适当的灭火器材。
10. 实验时候, 至少保证 2 个或多个可靠的人陪你一同实验 (操作由你一个人完成, TA

们负责在远处看,不参与你的实验,并保证他们有能力处理应急事故,可以冷静的面对事故,性别不限)!!

11 火花隙特斯拉线圈上电运转的时候,声音很大,要做好心理准备。

12 确保可以满足以上条件的时候,可以通电实验!

## 上电运转与调试:

如果你使用的是静止电极式打火器,直接接通电源,观察现象,如果火花隙不能启动,就立刻断电,放掉电容阵列中的电,调整火花隙的距离,调的近些,然后再进行实验, **绝对不能带电操作**,再次通电的时候,如果火花隙不启动,再次调整,重复上面的步骤,调到工作了为止。火花隙打火后,看特斯拉线圈工作状态,看次级线圈是否跳火(次级线圈冒火花),电弧能打多远,然后关闭电源,放掉电容阵列中的电能,调整初级下线圈的电感,先调小,然后通电实验,观察电弧长度,如果电弧变短,关闭电源,再把初级电感调大,再次进行观察,直到把电弧调到最长为止,宣告实验成功。

如果你用的是旋转火花隙,将每个旋转电极和静止电极之间的距离调合适,尽量都保持一样,保证火花隙旋转的时候,不要让电极之间发生机械接触。其他部分调试方法和静止火花隙调试方法一样。

## 小结

特斯拉线圈实验做完了,你现在会发现这个东西是非常简单的,只要让初级谐振频率=次级谐振频率( $L1C1=L2C2$ )就可以了,在设计初级谐振回路的时候,后来与变压器匹配,你发现什么了?其实在设计初级谐振回路的时候,电感设计大些,电容设计小些,虽然功率会变小,但是之后的变压器匹配,就容易了,不至于到了最后,进行变压器匹配的时候,才发现变压器功率大的惊人,设计初级的时候,要让初级电感可调,可以调大,可以调小,不要用最大的电感量去计算电容阵列的匹配,这样,无形中就将电感量锁死了,之后你就只剩下调整电容阵列的余地了。

好了,到这里,你应该能够设计一个属于自己的特斯拉线圈了,做好准备,找材料开始制作吧,祝你在实验过程中有个愉快的经历!!!

## 附: 精确的找出谐振点

### 测量次级线圈

按照上文计算好后直接制作好次级线圈和计算值会有一些出入,因为排线密度不一样,绕线松紧程度也不同。这时候为了准确的知道次级固有频率就需要做些实际的参数测量。

在此为大家提供两种方法：

方法一：

要用到的仪器：高精度电容表电感表或 LRC 电桥

1. 测试次级电感量。要用到的仪表为电感表，推荐有条件的使用 LRC 电桥。
2. 组装好 TC，放在合适的工作场所。接一根可靠的地线。
3. 把次级上端和顶端相连，测量次级+顶端综合对地等效电容量计算相应的固有频率。

方法二：

要用到的仪器：函数信号发生器、示波器（频率计，有些数字示波器有此功能）

1. 组装好 TC，放在合适的工作场所。

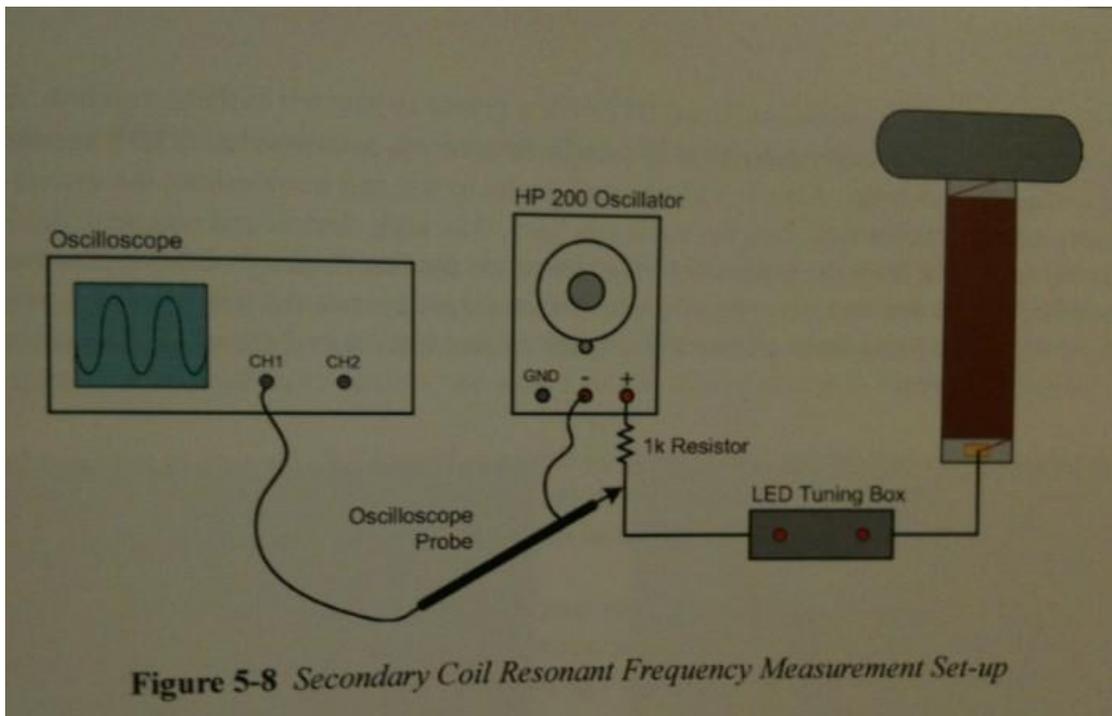
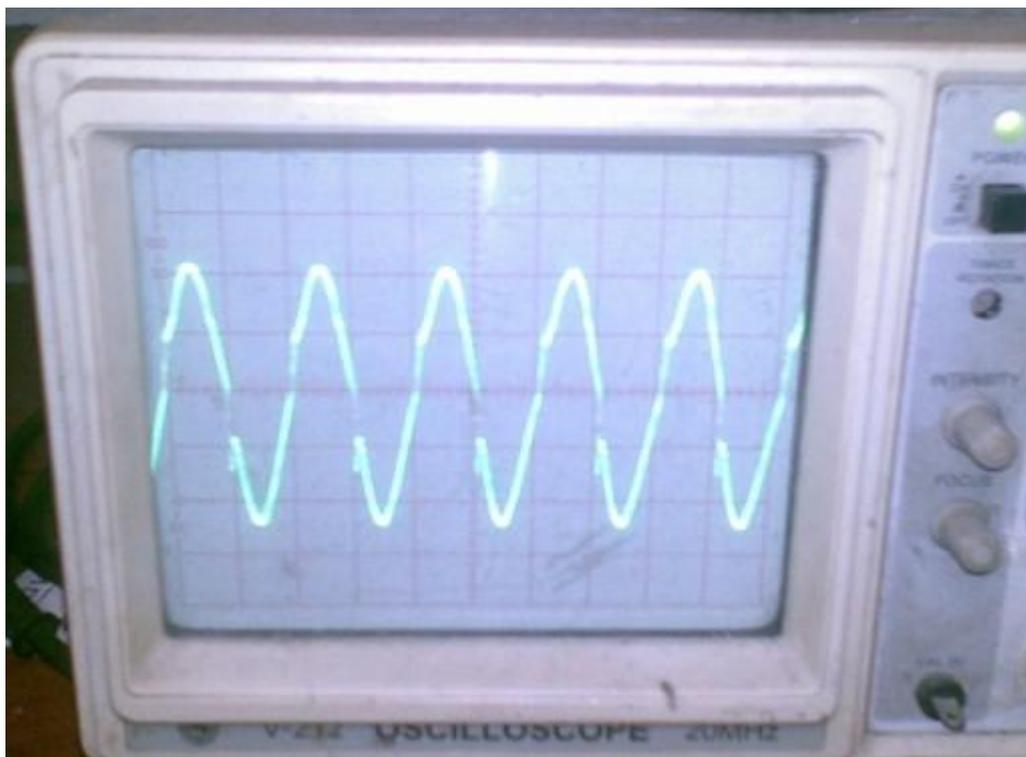


Figure 5-8 Secondary Coil Resonant Frequency Measurement Set-up

（本图引自网络，作者佚名）

2. 按照此图组装好电路
3. 缓慢调整信号发生器的输出频率。使得示波器的波形为正弦波时即为次级谐振点。



（图片来源 科创会员：sukeytang）

我推荐使用方法二，因为方法一测量的电感和对地等效值多少都会有误差，用方法二就可以有效地减少此类误差。

（只是提供方法，但不要因为制作特斯拉线圈而去冲动的去买这些仪器，这些仪器都是很贵的）

## 材料清单

材料清单					
部件名称	材料名称	规格	数量	单位	价钱
次级线圈	漆包线			公斤	
	骨架(PVC管)			米	
	绝缘漆			桶	
对地电容	铝制通风管			米	
初级线圈	铜管			米	
电容阵列	电容器			个	
	电阻			个	
火花隙	铜鼻				
	螺丝				
主电源	变压器			台	
其他材料					

(以上列表内的东西只供参考，实际需要的东西，根据个人而定)

**版权所有，请按以下协议分发和使用：**

1.允许非商业分发，分发者须保持文件完整性。

2.未经许可，禁止商业应用。

联系电话： 028-66274717

通讯作者： 林思成 478910129@qq.com（科创会员 山猫）

汤 禹 421595515@qq.com（科创会员 sukeytang）

16 开，46 页，11.135 千字

本文得到科创论坛电工与高压版和广大网友的大力支持，在此一并致谢。

封面： 玄明

顾问： 刘 虎 朱 念 赵紫川