

1.4 闪电大师特斯拉

物理教材中，经常提到 Tesla 的地方是在电磁学中，度量磁感应强度的一个单位 (T)。它的来源是为了纪念美籍塞尔维亚电气工程师尼古拉·特斯拉 (Nikola Tesla, 1856-1943)。

过去，人们对特斯拉的故事所知不多。几年之前，这个快要被遗忘了的天才突然不知被哪个媒体发掘出来，成了众人眼中的科技之神。特斯拉坎坷的一生本来就颇具传奇性，加上近几年来被文学艺术人士及传媒界极力渲染，蒙上了许多神秘色彩。有人把他描述成一个具有特异功能的超人，甚至怀疑他是来自外星球的高等生物，又怀疑地球上发生的许多神秘事件，都与他的研究有关……等等，这些古怪离奇的说法，实在太吸引眼球了。然而，不管特斯拉是人还是神，他的发明创造及研究范围大多与“电”有关。尽管当时“电子”这个小东西，作为个体还没有被人见到它的“庐山真面目”，但特斯拉却紧紧抓住了这群隐藏神秘舞者露出的闪亮尾巴。我们的闪电大师翻云覆雨、挥洒自如，让电子尚未露面就先为人类大跳它们的交流电集体舞，带给世界光明和能量。因此，在继续探索半导体之前，让我们为这个伟大的发明家写上一节，脱去神秘外衣，还其科学本质！

A、为电而生^[8]

著名的美国发明家爱迪生 (1847-1931) 的名字家喻户晓。他超过一千多项的发明专利，无时无刻不在造福于人类。家家户户都有的电灯泡，就是最简单而普通的例证。

有人说，如果没有爱迪生，也许人类还只能用烛光照亮黑夜。

但也有人说，如果没有爱迪生，还有特斯拉呢，特斯拉才是上帝派给人类的普罗米修斯，电气电子之神！

还有人会说，即使没有爱迪生和特斯拉，还会有别的什么人啊，人类社会是一定会向前发展的，是时势造英雄，而不是英雄造时势！

历史没有如果。在无线电通信和电力系统发展的过程中，我们既有爱迪生，又有特斯拉，上帝给人类派来了两位伟大的发明家。

在爱迪生 9 岁的那一年，尼古拉·特斯拉，随同一道闪电来到了人间。

三岁时，特斯拉用手抚摸他的宠物猫，突然看到一道细微闪光穿过手掌与猫之间，随即给手上带来一阵奇怪的麻感。父亲告诉惊魂未定却又固执不停地问“Why?” 的儿子，那是电，和天空打雷时一样的电！小特斯拉心里想：和打雷闪电一样！难道天地宇宙是一只大猫吗？如果是一只大猫，又是谁在抚摸它呢，是上帝吗？太多的疑问，纠结着这个不停思考的孩子。从此，电这个名字，深深地刻在了特斯拉的脑海中；从此，孩童和少年时代的特斯拉经常出现幻觉，眼中总是看到火花电光闪烁一片。

父亲希望他将来做牧师，特斯拉却暗暗立志，要毕生研究电！直到特斯拉染上了霍乱，这一场大病动摇了父亲有关儿子未来的信念，成就了特斯拉的梦想，从此，特斯拉与电结下不解之缘。

从用旋转磁场的方法改进马达，而发明交流感应电动机、发电机，到后来，创造第一台无线电遥控机、发明推广交流电体系、发明特斯拉线圈、制造人工闪电、研究全球无线供电系统，特斯拉的大部分发明专利，都与电有关，他不愧为是电气化领域的先驱，是一个为电而生的天才。

B、电流大战^[9]

1884 年，特斯拉带着他的美国梦，从巴黎来到纽约，一路上钱和车船票全被小偷偷掉了，口袋里只剩下 4 美分，他慕名而投靠到已经大名鼎鼎的爱迪生门下。

两年前，爱迪生，这个新泽西门罗公园的奇才，用他的白炽灯泡和华莱士的直流发电机，第一次点亮了曼哈顿！

那是 1882 年 6 月 17 日的晚上，万籁俱寂、悄夜无声，天上几点星光闪烁，曼哈顿富人区的仆人们正在慢慢地、一盏一盏点亮家中的蜂蜡蜡烛和煤油灯。突然，位于 36 街麦迪生大道上的意大利式摩根豪宅，二百多只灯泡同时亮了起来，宝石一般柔和明亮的灯光，像奇迹一样，照亮了这位开明的华尔街金融大亨新家的每个角落！

之后，爱迪生的直流供电系统从曼哈顿向各地延伸，人们为新技术的成功而欢呼雀跃的同时，也被它带来的危险和不便所困惑和惊吓。

比如，JP 摩根的邻居布朗太太，受不了摩根家地下室里发电机运转时震耳欲聋的声音，还有那种整栋房屋都跟着发抖、震荡摇晃的恐怖感觉；路人们也抱怨那些成天往外冒着讨厌浓烟的蒸汽机污染了空气；更为可怕的是，还经常发生些小小的电力灾难，因短路而造成起火和触电、进而死人的危险性，让人们对这个新技术既爱又怕、耿耿于怀。

这时，正好来了个特斯拉，爱迪生称他为“我们的巴黎小伙子”。

爱迪生立刻发现这个塞尔维亚裔的年轻古怪工程师是个很有用的人才，便委以重任，让他去改良很不完善的直流供电设备，并口头承诺 5 万美元的奖赏。特斯拉兢兢业业地工作，不到一年就设计出了 24 种不同的机器来取代旧机器。但是当他向爱迪生提到承诺的奖金时，得到的却是爱迪生轻飘飘的一句话：“啊，你太不懂我们美国式的幽默！”

还不仅仅如此，特斯拉当时太天真了，实际上，他连周薪从 18 美元涨到 25 美元都很难争取到，却异想天开地指望爱迪生会给他几万美元的奖金，这不是天方夜谭吗？

更令特斯拉不快的是，爱迪生的公司里，没有一个人，愿意接受他关于交流电的看法和建议。要知道，特斯拉早在几年前的学生时代，就在脑袋中完成了有关交流感应发电机的构想，他是带着他的交流之梦来找爱迪生的！但是，正如历史屡屡证实的，技术的发展并不只与技术本身有关。市场的走向、商业的运作、公司的发展、投资者的利益，诸多的因素掺杂其中。历史总是周期性的重复和类似。20 世纪末 21 世纪初，世界上演了一场互联网大战。而在 100 多年之前，特斯拉和爱迪生之间则曾经有一场“电流大战”。

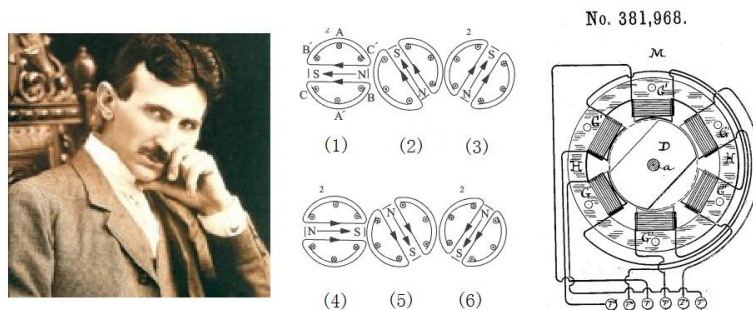


图 1.4.1: 特斯拉和他的旋转磁场及感应电动机

爱迪生当然不会接受特斯拉有关交流电的突发奇想，特别那时正是他的直流供电系统蒸蒸日上的时候，爱迪生本人也已经因此而腰缠万贯，变成了一个众星捧月式的名流。

在爱迪生的公司里，特斯拉实现不了他的交流电之梦，又被爱迪生不遵守承诺而激怒。因此，特斯拉一气之下便辞职离开了爱迪生公司。当然，为自己鲁莽仓促的决定，特斯拉付出了沉重的代价，他一、两年的生活全靠体力劳动支撑，直到连特斯拉的工头都发现，这个塞尔维亚年轻人不仅仅是一个普通的认真干活的工人，起码能算是一个有经验的工程师吧，甚至像是一位电学专家。因此，工头把他介绍给自己认识的大人物。终于有一天，特斯拉有了重圆电子梦的机会，他在自由街 87 号有了他的第一个电气实验室，他开始研发早就在脑海里完成多次的整套交流供电设备！

在特斯拉为贫困所趋到处打工的时日子里，交流电和直流电之战已经悄然而起，这场战争是从来自匹兹堡的乔治·威斯汀豪斯（Westinghouse）的交流电公司侵犯到爱迪生的供电市场而

开始的。

乔治·威斯汀豪斯（George Westinghouse, Jr., 1846-1914），是美国著名的实业家、发明家，西屋电气创始人。1888年7月底，特斯拉带着交流电方面的多项专利，正式加盟威斯汀豪斯，使其与爱迪生的电流之战达到白热化。

交流电比较直流电，在发电和配电方面，有许多的优越之处，这也是为什么特斯拉所发明的三相交流电及其感应电机设备，以及110伏特、60赫兹的供电标准在美国等国家沿用至今的原因。

特斯拉发明的多项交流发电机可以很经济方便地把机械能、化学能等转换成电能；交流电系统利用电磁感应的原理，建造变压器后，可以很方便的升高降低电压，达到远距离传输的目的。因为在高压的情形进行传输，才能降低损耗，传得远。而爱迪生当时的直流电，只能以较低的功率和电压发电，在整个线路上，每隔几十米就必须安装一台发电机。

当然，从物理的角度看，直流电输电也有其优越之处，没有因为电容电流而产生的损耗；没有因为趋肤效应而引起的电线有效面积的减少；不需要交流输电的同步调整……等等。

交流电最独特的优势是容易变压。因为传输的损耗与电流平方成正比，所以，传输电流越小，损耗就越小。而传输的功率则等于电压和电流相乘，要减小电流从而达到减小损耗的目的的话，就必须增大电压，才能将同样数值的功率传输到用户端。比如，传输同样的功率，如果电压加倍，电流则减半，损耗则减到四分之一。并且，用户离得越远，就需要将传输电压升得越高。交流电容易变压的特点正好适合这种低消耗的高压输电，使用结构简单的变压器即可将电压升至几千至几十万伏特，传送到几百公里之外，这是爱迪生的直流供电系统望尘莫及的。

然而，爱迪生为了商业的利益，极力维护他的直流电独立王国，用尽心机和手腕，拼全力拒绝和诋毁交流电。

最后，这场电流大战以威斯汀豪斯和特斯拉的胜利、爱迪生的失败而告终。

当时，交流电打败直流电的里程碑有两件大事：一是1893年的芝加哥世博会^[10]。在这次会上，威斯汀豪斯的西屋电气公司用三相交流电点亮了十几万只灯泡，在夜晚，将整个博览会照耀得如同白昼一般。特斯拉则在这个世界性博览会上第一次为电子展品开设的展区中出尽风头。他展示了他的荧光灯、和没有电线连接却能发光的灯泡等等新发明，还有通电后就能旋转而站立的铜蛋（称为哥伦布蛋），特斯拉以此向人们说明他的感应电动机和旋转磁场的原理。

交流电的另一个具历史意义的事件，则是1896年11月在尼亚加拉大瀑布新落成的尼亚加拉水电站。这个电站使用了3套5000马力的特斯拉交流发电机，成功地将电力送到35公里之外的布法罗市。1895年，电站落成送电后，各媒体兴奋地竞相报道：“电闸一合上，汹涌澎湃的瀑布便流向了山巅。”后来，人们在尼亚加拉大瀑布公园中竖起一尊特斯拉的铜像，以纪念他对人类电气化事业的无私奉献^[11]，因为特斯拉放弃了交流电专利的版税，弄得到老年一贫如洗。

C、神秘共振圈

爱迪生为了诋毁交流电，破费数千美元来调动各种新闻手段到处宣扬高压交流电的危险性，甚至人为地制造交流电事故。他建立了一个实验室，残忍地将特意抓来的小猫小狗电死；他买通纽约州监狱的官员，用交流电执行死刑，制造可怕的景象，形成公众对交流电的恐惧、厌恶和反对。

为了反击爱迪生，说明高压交流电在正确使用情形下的安全性，特斯拉冒着生命危险，多次表演魔术一样的交流电试验。“他身着软木鞋、晚礼服，打白领带，头戴礼帽，双手接通电路，用身体做导线，全身闪出电火花，人们被这一表演惊呆了。”表演时，特斯拉为了说明有危险的不是电压的高低，而是电流的大小，让上万伏的高频电压通过自己的身体，展示出

惊人的放电效应。

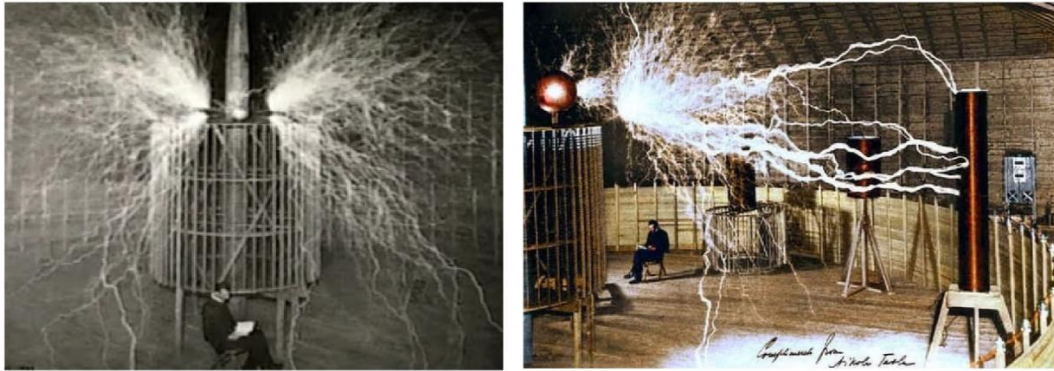


图 1.4.2: 特斯拉坐在闪电试验室里看书

(右图: 特斯拉坐在他在美国科泉市的实验室内, 身前是产生百万伏电压的“放大发射机”。)

(这是一张多重曝光照片, 摄于 1899 年, 后加彩色。)

在特斯拉的闪电试验中, 用来产生高频高电压、低电流的设备叫做特斯拉线圈, 是特斯拉最重要的发明之一。特斯拉线圈的原理很简单, 实际上就是一台利用共振原理的变压器而已。收音机中调谐电路的原理也是利用共振, 但是使用的目的不一样。特斯拉用它来方便地产生超高电压、超高频率但又是超低电流的交流电, 从而制造出人工闪电的效果。直到现在, 在世界各地仍有很多特斯拉线圈玩家, 他们做出了各种各样的设备, 制造出惊心动魄又美丽眩目的闪电图景。因而, 特斯拉不愧被人们称为闪电大师。

不过, 特斯拉当时不是仅仅将特斯拉线圈用于“玩”这种娱乐和教育的目的。他利用这些线圈进行了多项创新实验, 研究高频率的交流电现象, 产生 X 射线, 并用于电疗和无线电能的传输, 等等。采用特斯拉线圈的火花放电无线电发射机, 被广泛用于传递电报信号。一直沿用到上世纪的二十年代, 火花放电发射机才被真空电子管的无线电发射机所取代。

共振的现象在日常生活中司空见惯, 比如乐器利用它产生的共鸣。共振也是诸位在初中时候就学到了的简单物理道理。共振时, 往往会有意料之外的突发现象出现。例如, 在 1940 年, 美国华盛顿州的塔柯姆大桥因大风引起的共振而塌毁, 还有传说中某某高音歌唱家演唱时震碎玻璃杯的故事等等。

电磁共振, 这个简单现象, 在特斯拉手上却被玩出了很多花样, 且听我们一一道来。

特斯拉特别关注共振, 也源自于他年轻时的一段十分神秘的经历。据他自己的叙述:

“一天晚上, 我看见无数天使腾云而来, 其中一个居然是我的母亲! 那一瞬间, 我心中升起一股莫名的感觉, 潜意识告诉我: 母亲去世了! 后来证实, 这是真的!”

之后, 特斯拉用共振来解释这次幻觉的出现。他认为是因为他和母亲之间的脑电波达到了共振而产生的心灵感应! 不管他的理论正确与否, 他对共振现象的迷恋, 引导他走向了“特斯拉线圈”这一革命性的发明^[12]。

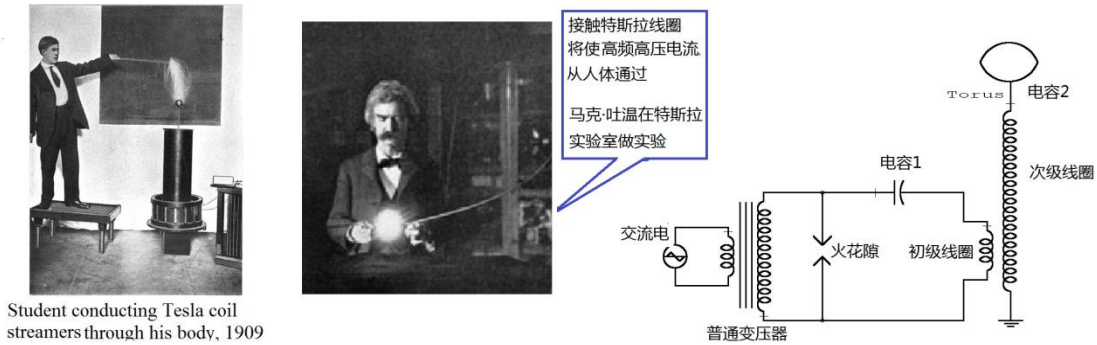


图 1.4.3: 特斯拉线圈原理图

特斯拉线圈的原理如图 1.4.3 右图所示。首先，一个普通的变压器将交流电的电压首先升到 2 千伏以上，这是可以击穿空气而放电的电压。初级线路中的电容 C1 充电达到一定数值后，距离几毫米的两个火花隙之间便产生放电。放电使得初级线圈（圈数很少）和电容 C1 构成一个 LC 振荡回路，产生高频振荡的电磁波，振荡频率通常在 100kHz 到 1.5MHz 之间。

最右边是次级回路，包括一个圈数很多的次级线圈和一个高高耸在顶端的放电金属托球。导电托球与地面构成一个等效电容 C2，C2 和次级线圈的电感也形成一个 LC 振荡回路。当初级回路和次级回路的 LC 振荡频率相等时，初级线圈发出的电磁波的大部分会被次级振荡回路吸收，使得放电顶端和地面之间的电压逐渐累积升高。这时，如果人体靠近顶端的托球，高电压的托球便通过人体产生放电，形成很小的电流，如果在电流的通路再串联一个荧光灯泡，电流就能使灯泡发光。特斯拉经常邀请投资人和好朋友们参与此类电闪雷鸣的实验。著名美国作家马克·吐温对这类实验总是自告奋勇，图 1.4.3 的中间一图，便是马克·吐温在特斯拉的实验室里让电流通过身体再点亮荧光灯时所拍的照片。

特斯拉对共振现象痴迷，还可从另外一件传说的趣事看出：1898 年，特斯拉在纽约的实验室里试验一个装在铁杆上的小型电气机械振荡器。他在逐渐缓慢地调整振动频率的过程中，没想到竟然使整栋大楼都颤动起来了，甚至招来纽约警察冲进了他的实验室，他才赶快抡起锤子，砸坏了这个该死的振动装置。

D、真正无线电之梦

特斯拉有了他的能造出闪电的线圈之后，进一步突发奇想。他将特斯拉线圈的线路进行一定的改动，发明了无线电发射机。后来人们心目中的无线电之父，却是意大利物理学家马可尼，但实际上是特斯拉第一次提出了完善的无线通信系统的设想。不过，特斯拉并不仅仅满足于只是无线地传递信号，像我们目前所用的通信技术这样。现在，人类有了无线的电传、电话、视频、网络，无论是声音、图像、还是复杂的数据，都能转眼就传到千里之外，通信技术已经达到了登峰造极的水平。但是，几乎所有的家用电器，还是一定要连着两根电线，以接通电源。即使是小到能装在口袋里的手机、电子表，也少不了其中那个关键的元件：电池。换句话说，我们现有的无线电，只是传输信号时“无线”，而凡是与能量有关的传输，用的仍然是由导线传输的交流电！

大师毕竟是大师，我们现在每天所享受到的，以全球交流输电网为基础的人类文明，是特斯拉在一百多年前发明的。我们现在还做不到的事情-无线输电，大师也在一个世纪之前就为我们想到了，并且，重要的是，他不单单是预见、想象，还为此奋斗终生，花费了数年时间进行探索和实验，试图造出全球无线输电系统，实现他的“真正无线电”之梦^[13]。

特斯拉比较其他发明家的伟大之处，是在于他不是仅仅做些鸡毛蒜皮的小发明，而考虑的是世界级、宇宙范围的大问题。

特斯拉利用电磁共振，制造了闪电、发明了无线电通信、震动了大楼……。他不满足，他还要用他的电磁共振，来控制气象、消灭战争，用他的无线输电来造福人类。他要把整个地球

和电离层，都纳入他的特斯拉共振线圈之中。尽管当今的无线电通信使用的也是他的专利，但是，他对于无线输电构想的基本原理，却不同于无线通信的原理。他的安装在沃登克里夫巨塔上的所谓“放大发射机”，主要功能不是用来向空中四处均匀地发射电磁波，那种远场方式发射的电磁波的能量，将随着距离的增大而很快衰减，特斯拉认为那是一种浪费。特斯拉感兴趣的是“近场”电磁波的效应，这种近场电磁波可以诱发地球和电离层之间的巨大电容所参与的“全球电振荡”。然后，特斯拉的目的是要让这个巨大的电容器储存他的“放大发射机”发出的电能，这个某种频率的振荡能量，以表面电流（或电磁波）的形式，沿着地球表面环形流动。如果没有接收器与其共振的话，这个能量不会损耗，或者是只有很小的损耗。

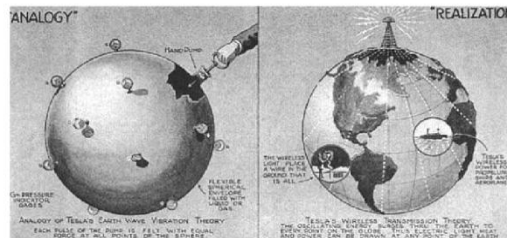
特斯拉无线传输电能的想法，类似于交流电传输过程中的无功功率部分，交流电在电感电容之间来回，这对于传输是必要的，但如果没有负载的话，电磁能并没有转换成其他形式的能量。特斯拉的无线传输电能的思想也是这样，发射机在地球与电离层之间建立起大约 8 赫兹的低频共振，只与天地谐振腔交换无功能量。放大发射机发出电能，然后传输、储存在地球磁场中，直到在地球的另一个地点，有一个接收器与这个频率产生共振。那时，接收器因为共振而将能量吸收过来，达到输电的目的。特斯拉甚至还进一步的构想：接收器接收到的，还有可能不仅仅是从人造的发射器中送来的能量，也许还附加上一点地球磁场中原来的能量？这样想下去，有点像是个永动机模型了。实际上，特斯拉的确认为，宇宙本身就是一个永动机。特斯拉做着黄粱美梦，还付诸于实践，为了未来的人类能用上取之不尽的免费能源！特斯拉说：“我们需要发展从永不枯竭的资源中获取能量的手段。”，“人类最重要的进步，依赖于科技发明，而发明创新的终极目的，是完成对物质世界的掌控，驾驭自然的力量，使之符合人类的需求。”



Colorado Spring 实验



纽约长岛的沃登克里夫巨塔



特斯拉无线输电设想

图 1.4.4: 特斯拉的全球无线输电计划

无论如何，当马可尼使用特斯拉的多项无线电专利，成功的在英国进行了 5 公里范围内的无线信号传输时，我们伟大的发明家，来到了科罗拉多州的科泉市（Colorado Springs），展开他的一系列秘密实验。

据说科泉市是美国闪电雷鸣最多的地方。特斯拉认为，闪电就是大自然进行无线输电的一个例子。闪电发生的那个瞬间，空气分子被高电压离子化而成为导体，强大的电能从一个地方传送到另外一个地方。现在，我们既然能人工地做出闪电，也就能在不远的将来，做出人工无线输电！

因此，特斯拉在科泉市建造了一个巨大的特斯拉线圈，一架 145 英尺的天线从屋顶上高耸入云，天线顶端有一个铜箔圆球（图 1.4.4 的左图）。就此，特斯拉开始了他的全球电磁谐振的首次试验。

特斯拉对实验结果很满意，得到了对地球电性能的一些结论，作为无线能量传输的基础。比

如，特斯拉根据实验结果计算出，地球和电离层的谐振频率约为 8 赫兹，这与几十年后科学界的研究结果一致。

1901 年，特斯拉得到金融大亨 J.P. 摩根的赞助，在纽约长岛建造了沃登克里弗塔，开始他的大西洋两岸无线输电之梦^[14, 15]。见图 1.4.4。不幸的是，这项工程两年之后因为摩根将投资转向马可尼而停止。后来，特斯拉破产，1917 年战争期间，美国政府以安全为名炸毁拆除了沃登克里弗塔，致使特斯拉的全球无线输电宏伟计划胎死腹中！

直到现在，仍然有人在追逐特斯拉的足迹，进行无线输电的研究^[16]。

晚年的特斯拉，孤僻落寞、一贫如洗，靠喂鸽子、吃救济来打发时日。他没钱再做实验，脑中却仍然奇想不断。除了进一步思考他的无线输电之外，还到各盟国游说他的“死亡射线”之类的新式武器。不过，他在公众的心目中，已经逐渐不再是敢想敢干的发明大师，而更像是一个想入非非的科技幻想家了。

还有几件颇具讽刺意义的事件：马可尼使用特斯拉的无线电专利，成功地实现无线通信的越洋传输，后来得到 1909 年的诺贝尔物理奖；传言特斯拉和爱迪生曾经拒绝分享 1915 年的诺贝尔物理奖，因而最后此奖颁给了布拉格；特斯拉和 Westinghouse 共同与爱迪生进行交流直流的战争，后来，两人都被授予过“爱迪生奖章”。

1943 年 1 月 7 日，特斯拉孤独地死于纽约一间残旧的旅馆中。