

现代防雷技术基础

(第二版)

钱伟长题



虞昊 编著



清华大学出版社



現代防雷技術基础

(第二版)

虞昊 编著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

21 世纪,人类进入信息社会,以微电子技术和计算机网络为依托的信息技术极广泛地渗入政府各个部门、各行各业和所有居民家中,与之不可分离的雷灾迅猛发展。因此,防雷市场扩大极快,大量人员转业、改行到防雷领域,亟须学习现代防雷科技知识。此外,在校各种专业的大学生也需要具备现代防雷基础知识。

由于雷电科学的发展还处在不太成熟的阶段,而防雷减灾还涉及人文科学,因此,防雷需要广泛的基础科学知识。本书适应这种形势,既广泛介绍了有关的自然科学和人文科学基础知识,又介绍了国内外雷灾和防雷实际情况,着重于培养读者的科学思维方法和创新精神。

本书可以供从事防雷工作人员作为专业教材,也可以供理工科大学教师、研究生及本科生作为参考书。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用清华大学核研院专有核径迹膜防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

现代防雷技术基础/虞昊编著. —2 版. —北京:清华大学出版社, 2005. 2

ISBN 7-302-10111-6

I. 现… II. 虞… III. 防雷—基本知识 IV. P427.32

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 130810 号

出 版 者: 清华大学出版社

地 址: 北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn>

邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175

客户服务: 010-62776969

组稿编辑: 王一玲

文稿编辑: 陈 力

印 刷 者: 清华大学印刷厂

装 订 者: 三河市新茂装订有限公司

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×260 印张: 18.5 插页: 1 字数: 423 千字

版 次: 2005 年 2 月第 2 版 2005 年 2 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-10111-6/TB·84

印 数: 1~3000

定 价: 35.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770175-3103 或(010)62795704



彩图 1



彩图 2



彩图 3

彩图 1

人体带静电高压时,头发竖立(在中国科技馆大厅)

彩图 2

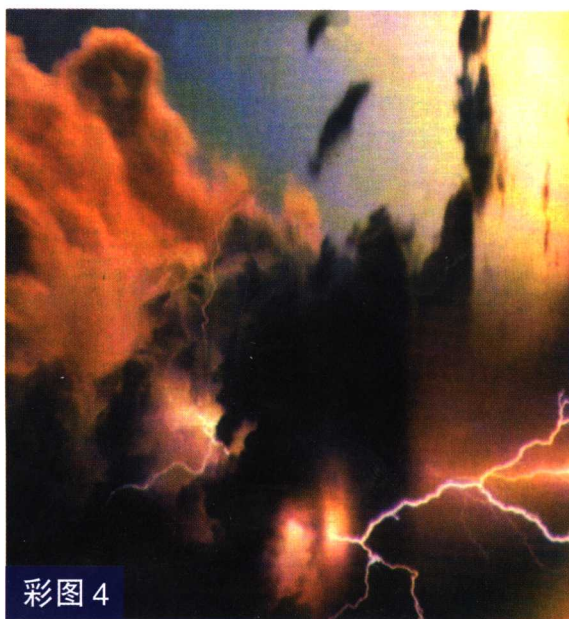
闪电击中大树,劈裂树干

彩图 3

中央电视台发射塔顶端的上行雷(《气象知识》副主编童乐天摄于1994年夏)

彩图 4

地闪和云闪(此图应顺时针转 90° 看)



彩图 4



彩图 5

彩图 5

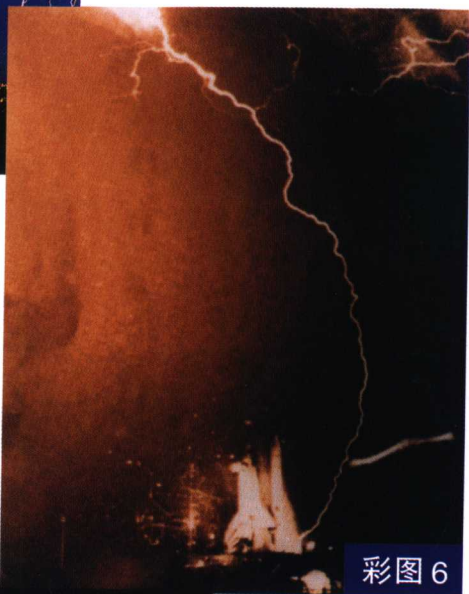
1990 年美国亚利桑那州出现的夏季风暴

彩图 6

1983 年 8 月肯尼迪航天中心火箭发射场上空的闪电 (中科院罗福山提供)

彩图 7

西昌卫星发射场的三支避雷针



彩图 6



彩图 7

前言

1989年青岛市发生震惊世界的黄岛油库特大火灾,国务院看到雷灾形势的严峻,下令两部一局在各地设防雷中心,增加各部门的防雷经费,从而,我国防雷市场迅速形成,大批人员改行搞防雷。为适应这一形势的急需,也根据不同读者的需求,笔者于1995年先后写了两种版本的《现代防雷技术基础》,分别由气象出版社和清华大学出版社出版。

21世纪的中国已进入信息社会,即使广大农村和普通居民家庭的青少年也广泛使用信息技术,通过网络了解世界。作为信息传递载体的电磁波与闪电产生的脉冲电磁波交织在一起,信息技术设备就难免受干扰破坏,这一总体形势导致两种结果:

(1) 雷灾在量上发生跃变。不仅雷击的数量剧增,而且由于信息系统是现代社会的“脑”和“神经”,雷击造成的社会影响和间接的经济损失极为严重,使得国家不得不在立法上、行政机构上及经费支出上给予特殊的重视。于是,防雷市场迅猛扩大,从事防雷工作的人员迅速增多,因此,整个社会迫切需要防雷科技知识。

(2) 雷灾主要对象发生突变。由于微电子技术渗入社会一切领域,而且这种技术发展变化极其迅速,因此,防雷方法、观念相应地发生很大变化,防雷科技知识包罗万象、日新月异。

因此,主管防雷的行政人员必须有广阔和深厚的自然科学知识基础、良好的人文科学知识基础、高尚的品德和宽广胸怀,并善于尊重、依靠和团结具有其他专长的科技精英共同发展防雷科技,完善我国的防雷工作。

笔者在大学已有53年教龄,但在防雷领域只能算是一个新兵。本书是采集众多科技工作者的知识和劳动成果,加以消化、分析而成。因能力有限,书中可能存在疏漏和不足,恳请读者批评指正。

谨向所有帮助我写成此书的专家和工作人员致谢,特别是清华物理系老学长王淦昌院士和钱伟长院士。

虞昊

2004年冬于北京

清华园

目 录

第 1 章 雷电科学发展简史	1
1.1 中国古代对雷电的认识	1
1.2 欧美雷电科学的建立	5
1.3 避雷针的发明	8
1.4 大气电学的发展	13
1.5 现代防雷科技	16
1.6 21 世纪的展望	21
参考文献	22
第 2 章 概率统计基础知识	23
2.1 事物的两种描述	23
2.2 概率论及有关概念	24
2.3 概率的一些性质	25
2.4 随机变量	26
2.5 随机变量的数字特征	27
2.6 相关	29
2.7 随机变量的概率分布实例	31
2.8 常见的概率分布函数	34
参考文献	39
第 3 章 有关雷电的物理学基础	40
3.1 物理实验	40
3.2 电磁学绪言	46
3.3 麦克斯韦电磁场理论	48
3.3.1 麦克斯韦方程组	48
3.3.2 静电学和电位概念	49
3.3.3 恒定电流	53
3.3.4 缓变现象和似稳电路	56
3.3.5 速变现象	58
3.4 气体介质中的电流	71
3.4.1 气体介质的放电现象	71

3.4.2 气体放电的物理机制	76
3.4.3 气体中的电流	79
3.5 固体介质中的电流与欧姆定律	82
3.5.1 固体的分类	82
3.5.2 固体介质的复杂现象	85
3.5.3 接地电阻	86
参考文献	94
第4章 闪电的物理过程及其特性	96
4.1 晴天大气电场	96
4.2 晴天大气中的电流	100
4.3 雷雨云	111
4.4 积雨云中的电结构	116
4.5 积雨云中的起电机制	121
4.6 闪电的类型、球闪	126
4.7 地闪的类型及其特性	133
4.8 闪电的形成机制	145
4.9 工程界对闪电的描述	153
4.10 雷电放电的工程计算	155
4.11 全球电路和地球与雷雨云之间的电荷输送	156
4.12 物理学上的思考	158
参考文献	159
第5章 闪电的各种效应与雷灾实例	160
5.1 闪电对人体的生理效应	160
5.2 闪电的电动力效应	163
5.3 闪电的光辐射效应	164
5.4 闪电的冲击波效应	165
5.5 闪电的热效应和机械效应	166
5.6 闪电产生的高电压	167
5.7 闪电的静电感应效应	169
5.8 闪电的电磁场效应	171
5.9 雷灾实例及分析	176
5.9.1 雷灾概况	176
5.9.2 人身雷击事故实例及分析	181
5.9.3 建筑的雷击事故	185
5.9.4 1989年的黄岛特大火灾事件	189
5.9.5 21世纪建筑物雷灾新情况	194

5.9.6 信息技术设备雷灾	195
参考文献	196
第 6 章 雷电探测与防雷检测	197
6.1 雷电探测与预警	197
6.1.1 概述	197
6.1.2 美国 KSC 的闪电测量系统	197
6.1.3 美国 KSC 的防雷减灾措施	200
6.1.4 雷电探测与定位	204
6.1.5 简介几种新的探测仪	206
6.2 防雷检测	209
6.2.1 雷电防护标准化技术工作	209
6.2.2 我国防雷检测工作的一些状况	210
6.2.3 防雷接地检测工作的困惑	211
6.2.4 展望	212
参考文献	213
第 7 章 防雷工程技术概述	214
7.1 人身防雷	214
7.1.1 行政措施	214
7.1.2 雷电造成人身事故的规律	214
7.1.3 个人防雷常识	215
7.1.4 雷击后的救护	216
7.1.5 谈一点野外作业的防雷	216
7.2 建筑防雷概述	217
7.2.1 雷击建筑物的规律	217
7.2.2 关于避雷装置	222
7.2.3 关于防雷接地	229
7.2.4 展望	231
7.3 雷电电磁脉冲防护	236
7.3.1 概述	236
7.3.2 架空导体的防护	241
7.3.3 埋入地下设施的防护	244
7.3.4 计算机和其他微电子设备防护	247
7.4 现代防雷的策略	248
7.4.1 按地区规划统一防雷	248
7.4.2 躲、引、拒三种策略的运用	248
7.4.3 综合防雷的思考	249
参考文献	252

附录 1	录像片《大气电场》解说词	254
附录 2	录像片《雷电及其防护》解说词	257
附录 3	防雷术语	261
附录 4	浙江省绍兴绿神特种水产品有限公司鳌场“8.6”重大雷击火灾事故分析 ...	278
附录 5	从地面到卫星的雷电探测方法评述	281

第 1 章 雷电科学发展简史

1.1 中国古代对雷电的认识

公元前 1500 年殷商甲骨文中就有“雷”字,稍晚的西周青铜器上亦有“电”字,它指的是闪电。

最早见诸文字记载的对雷电作科学观察的学者当推东汉哲学家王充(27—约 97)。他在《论衡》中对雷电就作过如下描述:“雷者火也。以人中雷而死,即殉其身,中火则须发烧焦。中身则皮肤灼僖,临其尸上闻火气,一验也。道术之家,以为雷烧石色赤,投于井中,石焦井寒,激声大鸣,若雷之状,二验也。人伤于寒,寒气入腹,腹中素暖,温寒分争,激气雷鸣,三验也。当雷之时,电光时见,大若火之耀,四验也。当雷之击,时或燔人室屋及地草木,五验也。夫论雷之为火有五验,言雷为天怒无一效。”公元 490 年写成的《南齐书》载:“雷震会稽山阴恒山保林寺,刹上四破,电火烧塔下佛面,而窗户不弄也。”北宋科学家沈括(1031—1095)著《梦溪笔谈》描述更详:“内侍李舜举家曾为雷暴所震。其堂之西屋,雷火自窗间出,赫然出檐。人以为堂屋已焚,皆出避之。及雷止,其舍宛然,墙壁窗纸皆黔。有一木格,其中杂贮诸器,其漆器银钹者,银悉熔流在地,漆器皆不焦灼。有一宝刀,极坚钢,就刀室中熔为汁,而室亦俨然。人必谓火当先焚草木,然后流金石。今乃金石皆铄而草木无一毁者,非人情所测也。佛书言,‘龙火得水而炽,人火得水而灭’,此理信然。”南宋初庄绰在《鸡肋篇》中云:“余守南雄州绍兴,丙辰(1136)八月二十四日视事,是日大雷破树者数处,而福慧寺普贤像亦裂,所乘狮子凡金所饰与佛面皆销释,而其余采色如故。与沈所书盖相符也!”明季四公子之一的科学家方以智(1611—1671)进一步概括之:“雷火所及,金石销熔而漆器不坏。”

关于雷击人与物留下纹迹的现象,最早论述的人也是王充。当时人们有鬼神之念者说,雷击死者的尸体上的纹迹乃天神写的罪状,王充在《论衡》卷 6 的《雷虚篇》中斥为虚妄之言。理由是天若要百姓知其罪,就应让人看清所写的字,可是无人识尸体上的字迹,所以它根本不是什么天神之书,乃是火烧之痕迹而已。《太平御览》卷 13 载:公元 406 年 6 月雷震了太庙,墙壁和柱子上“若有文字”。《梦溪笔谈》对这种现象记述得更具体:“余在汉东时,清明日雷震死二人于州守园中,胁上各有两字,如墨笔画,扶疏类柏叶,不知何字。”

关于尖端放电产生的电晕现象,《汉书西域传》载:“元始中(公元 3 年)……矛端生火。”晋《搜神记》云:“公元 304 年,成都王发兵郾城,夜间见‘戟锋皆有火光,遥望如悬烛’。”我们若留心细察古书,揭去古人添加的神秘之说,当可更多地看出他们记叙到的一

些自然界的物理现象。历史上还有对无云而雷这种罕见现象的记载,《太平御览》记有:“秦二世六年天无云而雷。”“成帝建始四年,无云而风,天雷如击连鼓音,可四、五刻,隆隆如车声。”

我国对雷电现象的科学观察和忠实客观的记述早于欧美逾千年以上,而对其本质的研究和揭示却又晚于欧美百余年。这一现象在其他自然科学领域也存在。中国本是文明古国,而近百年来累遭列强侵略,科学技术落后甚多,思索其原因是非常必要的。仅就雷电科学而言,作者颇倾向于一些学者之见——这与我国千百年来文人的传统坏风尚有关。一种是鄙视科学技术,视为奇器淫巧不足道;另一种则是急功近利,不求甚解,为我所用,借以讽喻世人或君王,而平民百姓愚昧,常以迷信的方式希冀免除大自然之灾祸。古代的所谓圣人之流借雷电之可怕威力喻世人,认为雷电是神灵之一,它要惩恶,可是暴君多,百姓中恶人更多,并未畏之而改恶从善。又如鲁僖公 15 年(公元前 645 年)雷击夷伯之庙,这是展氏祖庙,史书未见说展氏有什么罪恶事迹,《左传》就认为他们祖上有“隐慝”即“阴过”。晋杜预(222—284)著《春秋左氏经传集解》云:“圣人因天地之变,自然之妖,以感动之,知达之君则识先圣之情以自厉,中下之主亦信妖祥以不妄。神道助教,唯此为深。”此文透露了圣人之言的秘密。

但关于被雷击死者身上的纹迹被传为雷公对死者的判罪之文,是颇惑人心的,世人亲睹者极少,即使见之者也受鬼神之说而牵强附会,以讹传讹,至今民间这种迷信犹存,此种现象尚有其社会心理基础。老人、贫者之信教,对自然现象无知而遇困境求助于神灵以自慰,均源于此。在南方多雷区的旷野处,遇到雷暴临空的人,信奉雷公只惩罪犯之说是从心理上避开恐惧的有效方法,许多宗教迷信的流行类似于此。在科学极不发达的古代社会中,这是无可奈何的结果。但是到了今天就应该破除它,因为这种不靠科学靠迷信的做法只会给人们造成灾难,为害社会。中国近代的故步自封、歧视科学的传统思想,严重阻碍了我国的社会进步和经济建设,因此,重视科学和宣传科学知识是极端重要的。

我国历史也有少数进步学者勇敢地反对以神鬼说明雷电及其灾害,其中既包括唯物主义也包括唯心主义者。除王充、沈括这两位著名学者外,文学家柳宗元也是较杰出的一位。他在《断刑论下》中说:“夫雷霆雪霜者特一气耳,非有心于物者也。”“春夏之有雷霆也,或发而震,破巨石,裂大木,木石岂为非常之罪也哉!”宋代理学家程朱等人吸收佛学的优点,在哲学思索上下功夫,反对雷灾是天神惩罪之说。陆佃在《埤雅》(初名《物性门类》)中说:“电、阴阳、激耀,与雷同气发而为光者也。”“其光为电,其声为雷。”朱熹认为雷电是“阴阳之气,闭结之极,忽然迸散出。”元代末刘基(1311—1375,他就是被传为神化人物的刘伯温)在《刘文正公文集》中讲:“雷何物也?曰雷者,大气之郁而激发也,阴气团于阳,必迫,迫极而迸,迸而声为雷,光为电。”他们的认识比起同时期的欧美学者,是更接近科学的,可惜他们只停留在观察自然界、作理性思辨,没有动手制作仪器、变革所研究的对象、进行实验工作、寻找其规律,因而无法前进。欧美之所以后来居上,在科学上超过我们,就是由于他们使用科学实验这一手段不懈地探索,并得到官方和社会的支持和尊重。

在防雷科技上,一定要实事求是地对待我国宝贵的历史遗产,要发掘和尊重我国古

代文明宝藏,古为今用,增强民族自尊心。但不可盲目轻信,穿凿附会,误入歧途,这样反而不能发掘和利用宝贵的历史经验。要知道落地雷是小概率事件,几百年上千年的历史见闻和遗迹是防雷科学极难得的财富,中国在世界上有特殊优势,应该充分利用,下面就举古塔为例。

1997年,中国电机工程学会高电压专业委员会过电压与绝缘配合分专业委员会在合肥举行第五届学术讨论会,许颖将会议成果编辑成一本论文集,由电力科学研究院资料中心出版部出版。论文集第56~62页是武汉水利电力大学喻剑辉写的文章《消雷技术的理论基础与实践》,文中指出:我国长期无雷击记录的千年左右古塔很多,其中的11座塔累计受雷击的理论次数应为2190次,而实际上却没有一次受雷害的记录,即消雷率达100%。

这篇文章列出的关于11座历经千年雷暴而仍无损的古塔的资料,是很珍贵的科技研究宝库,是20世纪80年代初期武汉水利电力大学解广润教授带领弟子们在全国调查的结果。1991年9月1日《科技日报》发表“降雷记”一文详细介绍了这件事,该文说:“从古塔史料以及调查到的第一手资料中,解广润找到了一把消雷的‘金钥匙’。隐匿的历史老人终于吐出秘诀,于是,新的防雷理论写进了解广润的著作——古塔具有相当大的消雷能力,其消雷率高达99%以上。”据称,解广润最初研制的消雷器与所有外国的消雷器一样,都是用金属针,后来由于分析了古塔的导电性能类似于半导体,受此启发而创造了以半导体针取代金属针,从而发明了半导体消雷器(英文简称为SLE)。

这种半导体消雷器已作为畅销商品在全国各地安装使用10余年了,实践的效果证明了大家公认的一个结论:它与富兰克林(Benjamin Franklin, 1706—1790)的避雷针一样地起着引雷入地的作用,而没有起到消雷作用。研制者也认识到SLE或者古塔都不可能起消雷作用,这只需认真学一学大学物理学就明白了。

如何理解古塔不遭雷毁的事实呢?这就需要深入、具体地考察每一座古塔的实际情况,运用正确的物理方法、原理分析,不可抽象、笼统地按自己的想当然作出结论。因为中国历代建成的古塔以千百计,不少毁而无存或毁而重建,仅存这10余座古塔,若说它能消雷,那么为什么大多数古塔却被雷击毁了呢?仅从消雷这一理由看,显然是互相矛盾的。这10余座古塔必有其特殊的机理,尚未被发掘出来。笔者曾在镇江见到一座被雷击毁的古塔,全身是铁制的,塔顶层已被雷电流融化掉了,足见雷电流之大。惊异之余,特把它拍下照片。此外,笔者还曾登上过:(1)宁波城市中心的天封塔(始建于武则天即皇位的天授年号,建成于万岁登封年号,故称天封塔),距今已有1300多年,是砖结构;(2)杭州六和塔,距今1030多年,为砖木结构;(3)山西应县木塔,距今940多年,全部木制;因游览时尚未转到防雷领域,未曾思考到从防雷视角加以考察。

最近看到一本台湾著名物理学家林清凉博士著的大学物理教科书,共五巨册,其中第二册《电磁学》分析了应县木塔不被雷击之原因,很有说服力,对当前我国的建筑防雷有重要意义。特将其部分内容摘录如下:

“从汉代起,历史上不断有人观察到尖端放电的现象。在长兵器的尖端、旗杆顶、金属塔刹、屋宇殿堂的脊吻上,都见到进射火光或闪射火星的现象。方以智对于历史上诸多记载,认为这是‘雷火,每依墙杆栋楹有披击出声而上者’。他对大气电场中的尖端放

电的现象作出了直观的合乎事实的解释。

或许由于屋顶脊吻的尖端放电现象,曾经使中国人产生了建筑避雷的思想,也未可知。山西应县木塔建于1056年,高67m。其中铁制塔刹长14.21m。塔刹分别用8条铁链系于各屋脊端加以固定。这一建筑,历经近千年,但未被雷电烧毁。近年的研究表明,该塔是建于周围绝缘极好的地基之上,具有‘绝缘避雷’的机制。300多年以前,来华传教士、葡萄牙人安文思(Gabril de Magalhaens, 1609—1677)曾经提出中国人的建筑避雷问题,他的记述比美国富兰克林提出用避雷针保护建筑物的建议要早一个世纪。

安文思1640年入华,深入中国各地传教,最后定居于四川。1688年前后完成两本介绍中国文化的著作,其中之一为《中国的十二大奇迹(Les Douze excellences de la China)》。该书被分别译成法文和英文,成为欧洲人了解中国的经典著作。其中有一段中国建筑避雷的文字描述。当他叙述了中国建筑特点和渊源之后,他说‘屋顶脊吻即龙上的金属条一端插入地里。这样,当闪电落在屋或皇宫时,闪电就被龙舌引向金属条通路,并且直奔地下而消散,因而不致伤害任何人。人们可以清楚地看到,这个民族极有智慧。’

今天,从大量遗存的古建筑中,人们并未发现屋脊龙吻上的那根铁条直通地下,然而,值得注意的是,当时的整个欧洲尚未产生任何避雷或避雷针的思想观念,安文思的记述也不会是他本人凭空想象的,通过那条金属通路雷电可以被引向地下消散的观念无疑是中国人的看法,可以说,避雷针的想法和设计渊源于中国。”

林清凉提出的“绝缘避雷”是极为重要又难能可贵的建筑防雷新思想,这与二百多年来欧美继承富兰克林的防雷思维传统截然相反。

为何古塔“立”在绝缘良好的地面上闪电就不袭击它了?这将在介绍大气物理学闪电成因之后再详谈,此处仅举一例以明之。中国科技馆的中央大厅有一个很精彩的物理演示,在一个能产生几十万伏高电压的静电起电机旁放了一个绝缘良好的台基,操作演示的女工作人员站在这个绝缘台上,举手触摸起电机顶端的高压电极,她的长发立刻飘竖起来,表明长发上带了同号静电,相互排斥,人身却安然无恙,没有电流通过,因为足下是绝缘物。关于此例请看彩图1。如果人站在地上,那就危险了,只要人一靠近,几十万伏高电压就会向人火花放电,立刻使人电击致死。从这个物理演示可以看出:古塔与那位作演示的女子类似,雷雨云过塔顶并不向塔火花放电!

最后要解释一下,中国古代在防雷科技上为何比欧美国家先进?是真?是假?实事求是地说,古代中国的科技比欧美发展得早而且好。英国李约瑟(Joseph Needham)博士花了一生的时间所写的《中国科学技术史》足以证明西方电学发展起步很晚。英国人格雷(Stephen Gray, 1670—1736)于1729年才弄清电的传导现象以及物体可分为导体和绝缘体两类。而葡萄牙传教士安文思早在1688年写成的书中已明白的说明中国人以金属条作闪电通道的事实。本节开始所列举的《南齐书》、《梦溪笔谈》等古籍均已详细记述,闪电对金属物和非金属物的作用很不相同。这证明中国人早在11世纪之前就了解到导电物有两类,金属与非金属导电性不同,受到闪电作用的效果也大不相同,并由此而得避雷思路和措施。安文思描述的避雷装置确有此事,不是他一个人信口开河。华东师大老教授蔡宾牟主编的大学教材《物理学史讲义——中国古代部分》第170页就指出:“早在三国和南北朝时期,我国古籍上就出现过‘避雷室’,它表明当时我国已有了避雷措施。

直至唐代,屋顶上设置的动物形状的瓦饰,实际上是兼作避雷之用的。在一些古塔上,它的尖端常被涂一层有色金属膜,采用容易导电的材料直达地下的塔心柱,柱下端又有储藏金属的‘龙窟’,这实际上就构成了避雷装置。许多高大殿宇,常有所谓‘雷公柱’之类的设置,实际上就是避雷柱。”

但是中国二千多年来的封建社会有一个重要的坏传统——一切都是为皇朝的政治统治服务,文人急功近利、学而优则仕、鄙视科技及从事科技的匠人。正如林清凉在《大学物理》的绪论所指出的,李约瑟几大巨册描述的科技,主要是技术,而不能称为真正的科学。因为中国的史书所记述的只是观察到的现象和实践的经验,没有发展出实验研究这种科学方法,没有运用实验进行定量的研究以形成严密的系统理论(只有声学是个例外,由于政治上的需要,皇帝重视甚至亲身参加研究并载入史册,才得以系统地发展形成一门真正科学)。所以,从17世纪开始欧美依靠科学方法和实验迅速把电学发展成一门严密的系统科学,而中国则故步自封、日益落后。虽然在三国时已有了一些避雷室,但没有形成科学的理论来支持和宣传这种经验,以致普遍都失传了。正如林清凉所说的:“从大量现存的古建筑中,人们未发现屋脊龙吻上的那根铁条直通地下。”

1.2 欧美雷电科学的建立

16世纪,近代科学先驱英国弗兰西斯·培根(Francis Bacon, 1561—1626)、法国勒内·笛卡儿(René Descartes, 1596—1650)、意大利伽利略(Galileo Galilei, 1564—1642)等人,在反对封建宗教神学和经院哲学的斗争中,倡导和宣传了正确的科学思想和科学方法,对当时及后人产生了重大影响。他们提倡把科学实验提到很重要的地位,在这个基础上建立理性的思维,怀疑一切教条和无根据的论断。在18世纪中叶,许多学者进行实验观察,建立了关于电的本性的科学认识,在此基础上很快把雷电的神学面纱揭穿,从而初步建立起雷电科学。

这首先要归功于创造第一个起电机的盖利克(Otto von Guericke, 1602—1686),他于1663年做了一个直径十多厘米的可以旋转的琉璃球,通过摩擦可获得足够的电来作各种研究,并于1672年首次观察到电荷的推拒作用。英国格雷(Stephen Gray)于1729年发现物体可区分为二类:导体和非导体。在他的工作的影响下,法国杜菲(Charles Francis de Cisternay Du Fay, 1698—1739)做了类似的实验,约在1734年确定电荷可分为两种。一种被他称为玻璃型的(今称为正电),另一种被他称为树脂型的(今称为负电),并认为电荷具有同类相斥、异类相吸的性质。德国主教冯·卡莱斯特(Ewald Georg von Kleist)和荷兰莱顿城(Leyden)的物理学家穆欣布罗克(Pieter Van Musschenbroek, 1692—1761)先后于1745年和1746年发明了莱顿瓶,并用来表演电的实验。美国富兰克林见到从欧洲来的史宾斯(Spence)表演的电学实验,产生了兴趣,也动手做实验。他在1746年对莱顿瓶作了改进并串联起来使用。1747年,他发表了关于莱顿瓶功效分析的文章,在实验中证明了异种电荷可以相消,第一个提出了正电和负电的概念以及电荷既不能创造也不能消灭的思想。

第一个把实验室人工产生的电(可称为地电)与闪电(可称为天电)联系在一起的人

完全一样。鉴于这一成功,法国实验哲学大师 M. de Lor 八天后在他的巴黎住宅里竖起 99 英尺高的铁棒,固定在 2 英尺见方的厚为 3 英寸^①的松香底座上,5 月 18 日下午 4、5 点钟,雷雨云过顶,产生的火花达 9 英寸~12 英寸。同年 6 月,路易十六皇家花园的植物学工作者(后来是他的医生)Louis Guillaume Le Monnier 在 St Germain 花园重复这种实验,6 月 7 日在花园中的观众都感受到火花的刺痛,以致一些妇女最后请求他停止实验。他是把实验装置作了改进,并把一根铁丝从收集天电的铁管连接到花园的亭子上。有一次,他勇敢地站在绝缘的沥青座上,手执 5m 高的木制电极,其上绕有铁线,以致身体带上电,从他手上和面部发出长火花,还发出咯咯响声。

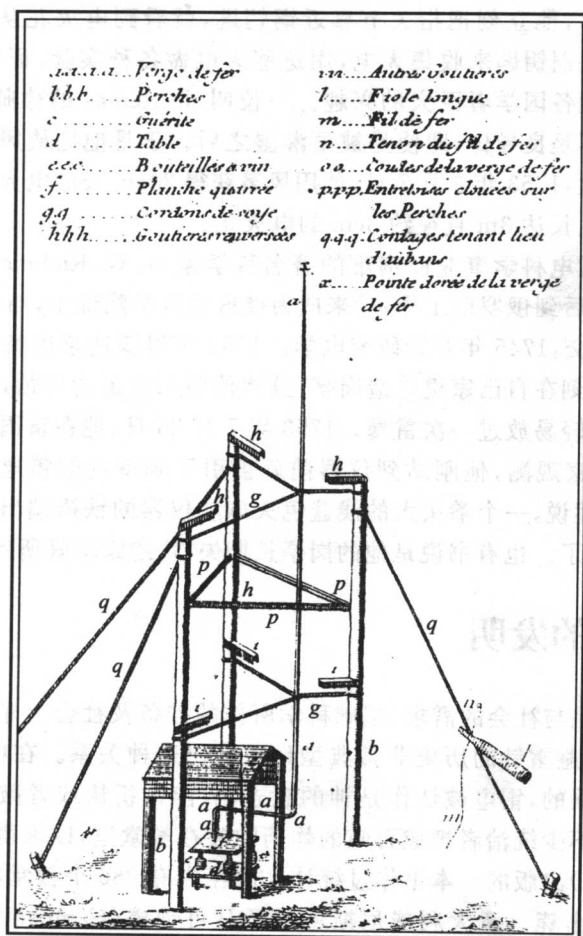


图 1.2 1752 年 5 月设计的“岗亭”

随后 Mylius 和 Ludolf 在德国, Canton 和 Wilson 在英国都成功地重现了这种实验现象,从此富兰克林的见解得到公认。

① 1 英寸=25.4mm