

现代防雷技术基础

钱伟长题 

虞 昊 臧庚媛 张勋文 关象石 编著



清华大学出版社

SP427.32

433312

Y79

现代防雷技术基础

虞昊

臧庚媛 张勋文 关象石

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

本书比较详尽地探讨了各种典型雷灾,特别是近年来新技术的迅速发展,产生了新的问题,雷灾也随着频繁发生。本书系统地阐明闪电的规律和必需的科学基础理论,然后介绍和说明现代的防雷技术,并有的放矢地澄清防雷工作中的一些思想迷误。

本书对象是各行业特别是气象、电力、邮电、石油化工、建筑、农林、航天航空和国防部门管理安全的干部、防雷科技人员、研究防雷产品和技术的人员,可作为防雷安全人员培训教材和参考书,也可作为大学有关专业的选修课教科书或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

DY75/B601

现代防雷技术基础/虞昊等编著. —北京:清华大学出版社,1995
ISBN 7-302-01993-2

I. 现… II. 虞… III. 防雷 N. P427.32

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 17455 号

出 版 者:清华大学出版社(北京清华大学校内,邮编 100084)

责任编辑:徐培忠

印 刷 者:北京市海淀区清华园印刷厂

发 行 者:新华书店总店北京科技发行所

开 本:787×1092 1/16 印张:15.25 字数:349 千字

版 次:1995 年 12 月第 1 版 1995 年 12 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-01993-2/TB·21

印 数:0001—6000

定 价:16.50 元

前 言

近年来由于微电子等新技术的普及与发展,各行各业都相继频繁发生雷灾,对国民经济的危害日益严重,迫切需要一本适应这一新情况的现代防雷技术的基础科学著述。为此清华大学虞昊、臧庚媛,华北电力学院研究生部张勋文和北京避雷装置安全检测中心关象石合作赶写了这本相当大学水平的防雷基础教材,由虞昊主笔。为赶在雷害季节出版以满足各方的急需,疏漏、错误必难免,希望读者和各方专家批评指正,以期达到完善。

在写作中得到各方面防雷专家们的关心和帮助,特别是中国气象局赵大铜同志、四川中光高技术研究所所长王德言同志和中国科学院空间中心罗福山同志提供了许多有关防雷的资料,特此致谢。

作者 1995 年 5 月
于北京

目 录

第一章 绪 论	1
---------------	---

第一部分 雷电科学理论基础

第二章 雷电科学发展简史	5
第一节 中国古代对雷电的认识	5
第二节 欧美雷电科学的建立	6
第三节 避雷针的发明	10
第四节 大气电学的发展	14
第五节 防雷工程技术的发展	17
展望	22
第三章 概率统计基础知识	23
第一节 事物的两种描述	23
第二节 概率论及有关概念	23
第三节 概率的一些性质	24
第四节 随机变量	26
第五节 随机变量的数字特征	27
第六节 相关	29
第七节 随机变量的概率分布实例	31
第八节 常见的概率分布函数	34
第四章 大学物理有关雷电的基础知识	39
第一节 电场	39
第二节 电势	40
第三节 气体介质与气体导电	43
第四节 气体放电的物理机制	47
第五节 气体中的电流	50
第六节 固体中的电流与欧姆定律	53
第七节 电磁场与电路	56
第八节 传输线与电磁波传播	62
第九节 物理量的测量	68
第五章 闪电的物理过程及其特性	75
第一节 晴天大气电场	75
第二节 晴天大气中的电流	79
第三节 雷雨云	89
第四节 积雨云中的电结构	94
第五节 积雨云的起电机制	98
第六节 闪电的类型、球闪	103

• III •

第七节 地闪的类型和其特性	108
第八节 闪电的形成机制	119
第九节 工程界对闪电的描述	127
第十节 雷电放电的工程计算	128
结束语	130

第二部分 雷电的成灾

第六章 闪电的各种效应与成灾	135
第一节 闪电对人体的生理效应	135
第二节 闪电的电动力效应	138
第三节 闪电的光辐射效应	139
第四节 闪电的冲击波效应	139
第五节 闪电的热效应和机械效应	141
第六节 闪电电流产生的高电压	141
第七节 闪电的静电感应效应	143
第八节 闪电的电磁场效应	145
第七章 雷灾实例及分析	151
第一节 雷电灾害概况	151
第二节 人身雷击事故实例及分析	156
第三节 建筑和构筑物雷击事故	160
第四节 1989 年的黄岛特大火灾事件	164
第八章 雷灾的新情况和新的思考	173
第一节 接闪器的新思考	173
第二节 有关高阻抗接闪器的理论思考	174
第三节 关于接地电阻的新思考	174

第三部分 防雷工程技术基础

第九章 现代防雷技术概论	181
第一节 对现代防雷工程应有的认识	181
第二节 现代防雷技术的基本原则	183
第三节 现代防雷技术措施	184
第四节 现代防雷技术设备	186
第十章 人身防雷	191
第一节 行政措施	191
第二节 雷电造成人身事故的规律	192
第三节 个人防雷常识	192
第四节 雷击后的救护	193
第五节 谈一点野外作业的防雷设想	194
第十一章 建筑防雷技术基础	195
第一节 应有的基本知识	195
第二节 雷击建筑物的规律	196
第三节 防直击雷的避雷装置	200

第四节	避雷针	202
第五节	建筑物内的防雷安全	204
第十二章	接地工程概述	205
第一节	接地工程发展简介	205
第二节	接地电阻	206
第三节	接地装置的设计与施工	207
第十三章	雷电电磁脉冲防护	209
第一节	概述	209
第二节	架空导体的 LEMP	210
第三节	埋入地下设施的 LEMP	213
第四节	计算机和其他微电子设备的 LEMP	215

第四部分 雷电探测基础

第十四章	雷电探测与预警	219
第一节	概述	219
第二节	美国 KSC 的闪电测量系统	219
第三节	雷电预警与定位	222
第四节	几种新的探测仪简介	225
第五节	应用示例	228
第十五章	避雷装置安全检测	229
第一节	概述	229
第二节	接闪器的检测	229
第三节	引下线的检测	230
第四节	接地电阻的检测	230
参考文献		234

第一章 绪 论

本章说明此书编写的缘由,亦即时代背景,目的和对象,书的性质和内容的安排。从而使读者可以比较主动地更有效地阅读。

自然灾害很多,而雷电灾害是最可怕的、普遍存在的,特别在有些地区非常频繁,自古以来就被神化。二百多年前富兰克林发明避雷针之后,建筑物得到有效的保护,人们对防雷就有了安全感,从此大家都把防雷安全看作是建筑师的事,不用自己操心。电力工业发展以后,防雷就成为电力系统高压专业人员的业务范围,建筑防雷人员也是出自这个专业。雷电本是物理学者二百多年来的重要研究对象,可是近半个多世纪,大学物理课本已很少讲授,特别是我国的大学物理教学,认为这只是火花放电而已,用尖端放电就可以防雷,毋需讲解。

但是我国的雷电灾害近年忽然呈现新情况,灾害频繁,对国民经济造成非常重大的损失,许多从不发生雷电灾害的行业部门也频频受害,不知所措。例如坐在大楼里只与纸打交道的银行系统,自以为闪电是不会为害他们,也不会袭击其设备财物的。可是当采用微机系统之后,它就成为雷电过电压波的侵袭对象,造成的经济损失,远远超过被损坏的微机本身。只从这一例即可窥知当今雷电灾害的特点,各行各业凡是使用微电子新技术的,都可能遭到雷灾,其影响之大远远超过被雷击坏的设备本身。

另一方面,原先得到避雷针保护的大楼而今也庇护不了建筑物内的人和物,握着电话机而死的人时有所闻,这又是人们意料不到的雷灾。随着家用电器的大普及,这种灾祸必须引起人们重视。因此普及雷电科学知识已成为非常迫切的任务,对各行各业、部门和一般居民、中小学生都是必需的。

自从1989年青岛市的黄岛油库大火之后,国家政府部门已充分感到防雷工作的重要,市场上防雷技术商品迅猛增加,广告宣传很多,报刊上讨论防雷的文章开始增多。但众说纷纭,莫衷一是,鱼目混珠,难以判别,迄今尚无一本适合当前防雷需要的教材以满足各方面人士的需求。鉴于这一急需,清华大学出版社约作者编写了这本书。

早在1988年作者从国外的情况,预见到大学物理有必要加强与雷电有关的物理概念的阐述,摄制了第一部雷电方面的电视教材《大气电场》,立刻受到各大学师生的欢迎。德国来华讲学的物理教授 Dr. H. Hilscher 看后非常赞赏,并带回德国作为教材,他和 München 大学 Karl Luchner 教授还写了书面评价,称赞它是专业水平的物理概念清晰的好教材。次年鉴于黄岛油库大火的严重教训,作者去该处调研,又摄制了第二部电视教材《雷电及其防护》,立刻受到气象系统和其他一些防雷部门的欢迎,并被用作培训防雷人员的教材。去年又根据防雷部门提出的需求摄制了系列防雷电视片第3部和第4部。电视教材适合人们形象思维的特点,其图象给人以明晰的感性知识,深入浅出,易懂而印象深刻,但是不易作理论探讨,因此必需有文字教材配合,供读者从容地思索。所以这本书与作者摄制的防雷系列电视教材是紧密配合、相辅相成的,一起使用,效果最佳。

本书是基础理论教材,适合大学程度的读者阅读,同时它又是紧紧联系当前普遍遇到的雷电灾害实况和人们头脑中遇到的问题和疑惑,成为防雷工作所需要的有的放矢的教材。读者对象首先是各部门负责防雷安全工作的行政干部,使他们懂得当前遇到的雷电灾害的真正原因和如何对症下药地采取最合理的防雷措施,怎样辨别防雷技术商品的真伪优劣,从而切实做好防雷安全工作。第二是具体进行防雷技术的工作人员,使他们获得比较扎实的基础理论知识,懂得研究的方法,从而为防雷事业作出更多的贡献。第三是一般的科技人员,他们并不负责防雷科技工作,可是却必需了解到雷电现象与自己的专业业务有千丝万缕的联系,否则就难免发生意料不到的事故。例如设计电子设备的工程师,就应在设计中考虑到雷电过电压波从电源和讯号端入侵的问题。第四是大学的教师、研究生和本科生,既然今后各行各业的科技或行政管理人员都难免遇到雷电灾害,都需要补充雷电科学知识,那么现在的大学基础课特别是物理课中就需要加入或加强这方面的基础科学知识,这本书也是为他们服务的。

作者在大学里生活和工作近 50 年,比较清楚地看到计划经济体制下的大学教育和教材的缺陷,主要是基础理论与专业发展互相脱节,知识面太窄,基础理论薄弱,以致难于适应当今迅速发展的科技和市场经济的需要。自然界是复杂的有内在联系的,事物的发展不可能局限于某个狭窄的专业圈子里。所以这本教材打破解放后四十几年来大学课本的模式,把基础理论和专业实际广泛地结合,着重于加深基础理论部分,涉及面很广,有些并不要求读者熟读精通,只是为了扩大视野,但它又是必需知道的,有重要价值的。

作为大学教材,它不仅应给读者以知识,而且应指导读者科学思维方法和发展知识的本领,所以本书常插入一些有关哲理思维的内容。第二章是本书很重要的基础部分,每个人一生能见到的事物有限,实践的时间有限,为此必须“站在前人的肩膀上前进”,要充分借鉴历史上的经验教训,少走弯路。所以读者应首先比较仔细地阅读这一章,不仅是知道一些历史故事而已,而是从中学到一些带规律性、方向性的东西,这将有助于读好后续各章。

最后应指出,这不是一本防雷工程实用手册,不是工程设计指导书,而是一本实用的基础理论书籍,若要具体地设计防雷装置、维修防雷器具则还需另找有关的专业书刊。

限于作者的学识水平、实践经验,特别是出书的时间比较匆促,疏漏、错误在所难免,欢迎读者和各方面专家批评指正,帮助作者今后改进。

第一部分

雷电科学理论基础

第二章 雷电科学发展简史

第一节 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 年—约 97 年),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,即询其身,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 年)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 年)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 年)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,他在《论衡》卷六的《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)……矛盾生火。”晋《搜神记》云:公元 304 年,成都王发兵邺城,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。”

我国科学地观察并忠实客观地记述雷电现象早于欧美逾千年以上,而研究并明了其本质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,作者颇倾向于有些学者之见,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 年)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。在古代科学极不发达的社会中,这是一种无可奈何的产物。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。特别是中国近几百年沿袭下来的固步自封歧视科学的传统思想,严重阻碍着我国社会的进步和经济建设,大力提倡重视科学和宣传科学知识是极端重要的。

我国历代也有少数进步学者勇敢地反对以神鬼说明雷电及其灾害,包括唯物主义和唯心主义者,除王充、沈括这两位著名学者外,如文学家柳宗元就是较杰出的一位,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,在哲理思索上下功夫,反对雷灾是天神惩罚之说。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 年,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,迫极而进,进而声为雷,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,作理性思辩,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。下一节我们可以看到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,并得到官方和社会上的支持和尊重。

第二节 欧美雷电科学的建立

首先,16 世纪近代科学先驱英国弗兰西斯·培根(Francis Bacon,1561—1626 年)、法国勒内·笛卡儿(René Descartes, 1596—1650 年)、意大利伽利略(Galileo Galilei, 1564—1642 年)等人在反对封建宗教神学和经院哲学的斗争的潮流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,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。许多学者进行实验观察,在18世纪中叶对电的本性建立了科学认识,在这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。

首先要归功于创造第一个可以人工制造电的起电机的盖利克(Otto von Guericke, 1602—1686年),他于1663年做了一个直径十多厘米可以旋转的琉璜球,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, 1670—1736年)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年)做了类似的实验,约在1734年确定电荷可分为二种,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),同类相斥,异类相吸。德国主教冯·卡莱斯特(Ewald Georg von Kleist)和荷兰的莱顿城(Leyden)物理学家穆欣布罗克(Pieter Van Musschenbroek, 1692—1761年)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(Benjamin Franklin, 1706—1790年)很快见到从欧洲来的Spence表演的电学实验,产生了兴趣,也动手做实验,并在1746年就对莱顿瓶作了改进,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和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)产生联想的人是曾任伦敦皇家学会馆长的豪克斯比(Francis Hauksbee),1706年他使玻璃圆筒摩擦带电,研究它的发光,看到这种闪光与闪电很相似。次年另一英国人华尔(William Wall)使用琥珀摩擦起电获得更多的电,观察到放电不仅产生闪光,且产生类似雷鸣的响声,因此认为雷电很似“地电”的放电。Stephen Gray于1735、1736年进一步从实验总结出结论,说:“天电与地电的电火花在本质上是相同的”。11年后莱比锡大学语言学教授Johann Heinrich Winkler于1746年发表长达27页的论文,论证了他用莱顿瓶产生的强大的火花放电与雷电的相似,认定雷电就是一种电荷量更多的火花放电。

到达这一步还只是一种科学的猜想,真正证实天电与地电的同一性的人是富兰克林,他把天电引到地上来作实验,才使人们信服无疑,这是雷电科学发展史上关键的一步。他到达这一步之前成功地做了一系列实验研究并作出许多重要发现,为这一步奠定了基础。首先他研究了电荷分布与带电体的形状的关系,从而认识了尖端放电,并改进了莱顿瓶,这使他可以获得大量的电荷,用以产生强烈的火花放电,因而在1751年伦敦出版的《电的实验与观察》(这是他从美国写给在英国的好友Peter Collinson的一组信,请他在英国皇家学会上宣读,在欧洲引起广泛的重视,于是出版成书,到1774年为止共出了五版)上总结指出:“到1749年11月7日为止,可以举出人工放电与闪电在12方面是相似的。但是尚未能判明天电是否也可以被尖端所吸引。”于是决定设计实验来考察,这正是他的高明和所以成为雷电科学和防雷技术上有划时代贡献的科学家的成功之处。

实验分两方面。第一方面是他写给Collinson的信(1750年7月29日)所叙述的“岗亭实验”,所谓岗亭就是设计的一个可以容纳一个人的小房子,有遮雨的顶盖,在顶盖上方竖起一根铁棒,上端磨尖,铁棒固定在绝缘底座上,小房子置于高塔或教堂顶上,人可以在

小房内观察、作实验。图 2.1 是法国当年著名科学家巴黎 Navarre 学院物理学教授 Abbé Nollet 在 1753 年建立在他别墅里的“岗亭”。

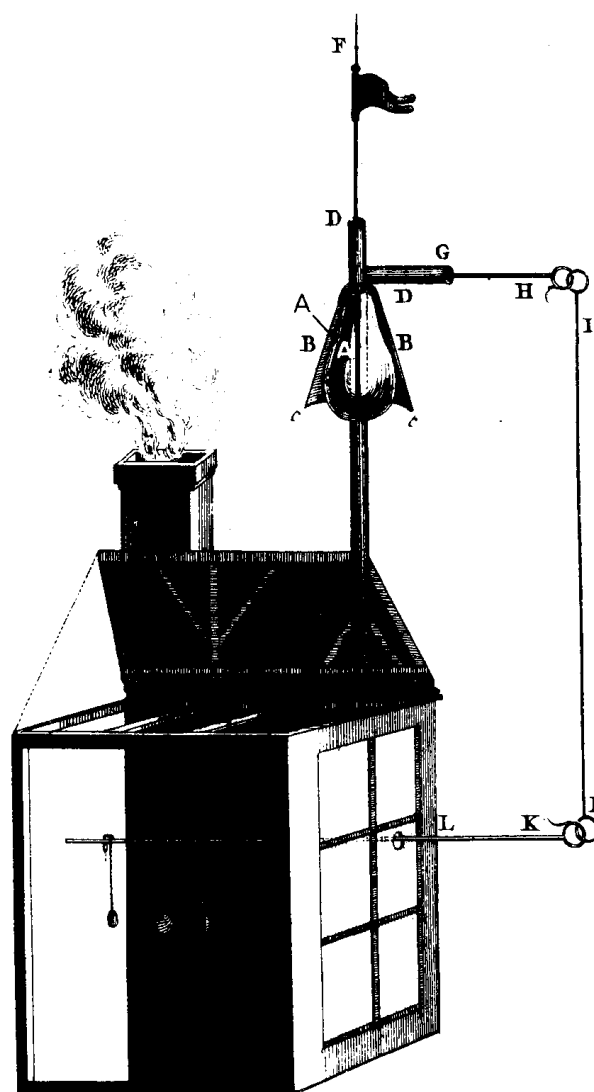


图 2.1 Nollet 的“岗亭”

他的信发表后引起欧洲电学研究者的兴趣,法国皇帝 Louis16 对这一实验很重视,愿亲自看看,并赞赏富兰克林和 Collinson 的工作,于是促使好多位学者积极进行岗亭实验,第一个成功的实验是 1752 年 5 月 M. D'Alibard 在巴黎郊外七、八英里外名叫 Marly 的乡村中一座花园里做的,图 2.2 是他当年设计的实验装置的图纸,竖立的铁棒高 40 英尺。5 月 10 日,值班人员看到雷雨云过顶上时,铁棒下端发出电火花,它与地电产生的电火花完全一样。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—12 英寸。同年 6 月路易 16 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

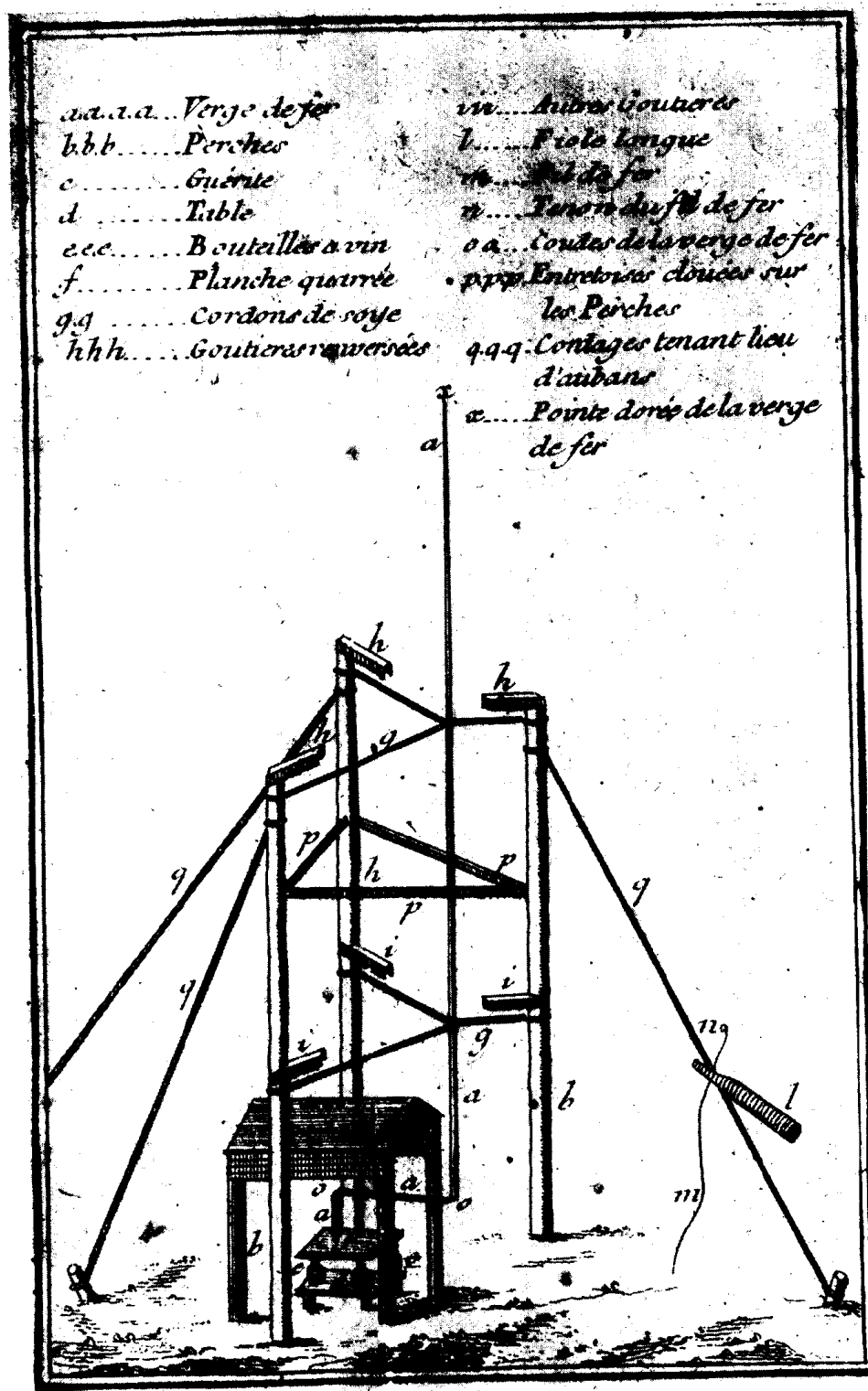


图 2.2 1752 年 5 月设计的“岗亭”

作了改进,并把一根铁丝从收集天电的铁管联接到花园的亭子上。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。

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。

第二方面则是著名的风筝实验,直接从云中取下天电来验证其是否与地电相同。他设计制作的风筝是用手绢制的,骨架上装有金属尖端,用麻绳作风筝线,绳下端挂了一个金属圈,圈上吊了一个铜钥匙,用以把收集到的电荷引到莱顿瓶,金属圈上系一干燥的丝绳,人手拉丝绳站在遮雨的小屋里,以保证丝绳是不导电的。为了谨慎不致闹笑话,实验时只有 21 岁的儿子在场作助手,因此这一实验当时不为人知,也未留下日期和实验记录。1752 年 10 月 19 日他给 Collinson 的信中才透露了实验的情况:把风筝放上去后等了很长时间看不出效果。后来头顶上方到来一朵有希望带着电的乌云,可是仍看不到预想的带电现象。就在这一时刻,细心的富兰克林注意到麻绳上几丝松散出来的纤维竖起来互相排斥,他立刻把指关节靠近铜钥匙,就看到电火花从钥匙跳向指关节。于是他用莱顿瓶放近铜钥匙来收集“天电”,用这些“天电”作各种实验,证明它与“地电”完全相同。此信发表后引起各国学者巨大的兴趣。一位叫 de Remas 的律师于 1753 年重复风筝实验时发现麻绳不是良导体,即使是被雨淋湿之后。于是他把放风筝的 240m 长的麻绳全部包上提琴钢丝,1753 年 6 月 7 日,他用风筝获得 20cm 长的电火花。后来他用更长的这种风筝绳竟产生长达 3m、直径约 3cm 的电火花。

应该说一说为雷电科学事业而殉难的著名科学家 G. W. Richman(1711—1753 年),他是德国人,大学毕业后到俄罗斯工作,后来成为彼得堡科学院院士,与罗蒙诺索夫(M. V. Lomonosov)成为至交,1745 年开始研究电学,1752 年得知 D'Alibard 的实验和富兰克林的风筝实验后,立刻在自己家里建造“岗亭”,虽然他明知雷击的可怕,但与罗蒙诺索夫经常一起观察,从不轻易放过一次雷暴。1753 年 7 月 26 日,他在雷雨来临时从彼得堡科学院开会中赶回家观测,就在他刚站到仪器前就被引下到室内的雷击中身亡,年方 42 岁。据当时人描述说是一个拳头大的浅蓝色火球从仪器的铁棒端出现,直奔他的前额,一次爆炸,他就倒毙了。也有书说是他的“岗亭”长期失检,绝缘不好所致。

第三节 避雷针的发明

科技的发明总是与社会的需求、基础科学所作的准备及社会上非科学的种种阻碍分不开,富兰克林发明避雷针的历史是非常典型地反映出这种关系的。在欧洲中世纪,宗教对社会的控制是很强的,雷电被认作是神的意志,只能作祈祷或者敲响教堂里的钟才能避免闪电的袭击。不少统治者把成百吨的炸药贮放在教堂里,求得上帝的保护。1784 年慕尼黑(München)出版的一本书作过统计:33 年内有 386 个教堂的尖顶遭到雷击,共有 103 名司钟员被击毙。意大利威尼斯城的圣马可钟楼(Campanile of San Marco)从 1388 年至 1762 年九次毁于雷击。1718 年 4 月 14 日 Brittany 城一夜之间 24 个教堂受雷击,其中之一被彻底毁坏,2 名司钟员丧生。威尼斯的一个教堂于 1767 年受雷击,该城的统治者贮藏在教堂里的几百吨炸药被引爆,3000 人被炸死,城的大部分被毁。1856 年 Rhodes 岛的一个教堂受雷击,发生类似的大爆炸,4000 人毙命。至于不见于书籍的雷灾就太多了。

避雷针的发明不仅是使人类生活上免除自然灾害,而且在哲学上和科学上也是一件大事。一位英国贵族高度评价富兰克林说:“电学是一门被忽视了的学问,最近几年里还有人认为它是一个无足轻重的问题。当时人们仅仅用电学解释一些吸引或排斥现象,人们也不认为有必要设想电学将会引出什么新事物。”19世纪著名科学家德国亚历山大·洪堡(Alexander von Humboldt, 1769—1859年)说:“从这个时代起,电学的发展由思辨物理学领域进入了对宇宙考虑的阶段,从幽深的书斋走进了自由的大自然。”考察这段历史,电学可以说是从1660年盖利克发明第一个起电机开始的,到1750年欧洲许多学者利用莱顿瓶作电学实验,足足90年,它仍停留在科学工作者的书斋里、实验室里,仅可供少数上层人作趣味表演,没有对社会生活产生什么益处和影响。但是从富兰克林写给Collinson的信公开发表之后,迅速对欧洲产生巨大影响,特别是避雷针迅速传播到世界各地,产生了公认的好效果,使广大的居民群众认识到电学科学的价值,随之对人们头脑里非科学的思维观点也起了积极作用,天电与地电被科学证明是同一之后,天上雷电之神的威望让位给地上人间的科学了。

为什么避雷针的推行不是在已有90年电学研究历史和科学家众多的欧洲?而却在经济上刚刚起步、电学还刚刚开始的美洲?并且发明者又是一位刚开始涉足电学的商人富兰克林!这里有没有必然性的规律呢?有!

富兰克林出生于美洲的波斯顿,8岁上学,10岁辍学,12岁成为他哥哥的合同工,1731年刚25岁就创立费城图书馆,1736年又组织起联合消防公司,1743年这位费城的印刷商却组织起美国哲学会,1746年Spence在波斯顿作演讲,听众之一的富兰克林被吸引了,当年Collinson博士从伦敦给他寄来各种做电学实验的“仪器”,这才开始了他的科学生涯,时年已过40岁。只不过5年,他把研究的成果以信的方式寄到欧洲发表,尚不为人知之时,他已在美洲创办起宾夕法尼亚大学。1775年4月在波斯顿以北美国独立战争打响,他加入了战斗,次年7月4日在费城通过了《独立宣言》,宣布建立美利坚合众国,他是起草人之一。他所处的社会环境没有深重的封建和神学的顽固统治,允许无神论的哲学和科学的自由发展,自由争辩竞争。而富兰克林本人又恰恰是怀有进步哲学思想、立志为公众的利益而奋斗的杰出人物,把科学当作为公众服务的手段,再加上他的正确的科学方法,这几方面的结合使他不但成为美国历史上受后人崇敬的政治伟人,而且又是对人类卓有贡献的受人敬佩的大科学家。他转入科学生涯不过8年,就在1753年11月30日荣获英国皇家学会颁发的科普勒金质奖章。1767年英国物理学家J. Priestley认为他把雷电和普通电统一起来,“是伊沙克·牛顿以来最伟大的”发现,1753年英国对电学很有创见的学者W. Watson称:“这些已经给哲学家们开拓了新的天地……”所以研究富兰克林的科学实践的成功经验,作为借鉴是很有意义的。

在第一节中我们也列举了中国宋代学者对雷电的“格物致知”,他们对雷电的认识和研究探讨与千年前的王充相近,没有什么进展。一直到20世纪20年代中国已有了几十所大学之后,许多大学教授还承袭这种玄谈的传统学风,只停留在观察自然界的现象、作论争思辩,而没有用实验来认识自然、变革自然,用实验来印证思索,发展观察,深化思辩。17、18世纪欧洲的学者在培根、笛卡儿、伽里略等先驱的影响下,冲破神学的束缚,开展实验研究,对电的认识作出了不少奠基性的贡献,对雷电科学的建立提供了不可缺少的条