



“十二五”国家重点图书出版规划项目

高速铁路通信信号综合防雷技术

付茂金 阮小飞 王州龙 李永毅 邱传睿 编著



 科学出版社

“十二五”国家重点图书出版规划项目
轨道交通科技攻关学术著作系列

高速铁路通信信号 综合防雷技术

付茂金 阮小飞 王州龙 李永毅 邱传睿 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书结合高速铁路通信信号设备实际,针对雷电对铁路通信信号设备的影响及防护方法进行了全面、系统的论述。主要内容涵盖雷电机理、雷害原理、防护器件及设备、综合防雷技术、接地与通信信号设备雷击试验等。本书立足于工程实用性,同时兼顾一定的理论研究,将防雷知识的体系性与全面性融为一体。铁路通信信号工作人员手持本书即可了解高速铁路通信、信号系统防雷的基础知识,并可以正确掌握综合防雷的基本技术。

本书可供铁路通信信号专业的设计、安装、施工、技术开发、运营管理等技术人员阅读,也可以作为高等院校通信信号专业学生的选修教材和教学参考。

图书在版编目(CIP)数据

高速铁路通信信号综合防雷技术/付茂金等编著. —北京:科学出版社,2014.8
(轨道交通科技攻关学术著作系列)

ISBN 978-7-03-041500-4

I. ①高… II. ①付… III. ①高速铁路-铁路通信-铁路信号-信号设备-防雷 IV. ①U284.93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 173975 号

责任编辑:刘宝莉 周 岩 张晓娟 / 责任校对:朱光兰

责任印制:肖 兴 / 封面设计:陈 敬

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014年8月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2014年8月第一次印刷 印张:23

字数:441 000

定价:98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



“轨道交通科技攻关学术著作系列”编委会

主任委员:康 熊

副主任委员:聂阿新 董守清 赵有明 叶阳升

委 员:王 澜 罗庆中 孙剑方 黄 强 王悦明
韩自力 江 成 柯在田 刘虎兴 杨志杰
段 武 熊永钧 杜旭升 李学峰 周清跃
史天运 王富章 朱建生 阮志刚 李耀增
朱少彤 傅青喜 常 山 贾光智 黎国清
王卫东 王俊彪 姚建伟 刘 越 周虹伟
孙 宁 刘国楠

“轨道交通科技攻关学术著作系列”序

“涓涓溪流，汇聚成河”，无数科技工作者不辍的耕耘，似在时刻诠释着这一亘古不变理念的真谛，成就着人类知识财富源远流长的传承与积累。

回溯新中国成立后中国铁路发展历程，特别是我国铁路高速、重载、既有线提速、高原铁路建设等一系列令世人瞩目的辉煌成就，无不映衬着“铁科人”励志跋涉的身影，凝聚了“铁科人”滴滴汗水与智慧结晶。历经六十多年的发展，中国铁道科学研究院充分发挥专家业务水平高、能力强，技术人才队伍集中，专业配套齐全，技术手段先进等综合资源优势，既历史性地开创了中国高速铁路联调联试、综合试验技术、无砟轨道技术，完成了重载运输、既有线提速和高原铁路等关键技术研究，实现了互联网售票、运营调度、应急管理，以及高速动车组牵引、制动系统及网络控制系统等大批技术创新和成果转化，又在铁道行业重大技术决策信息支持、基础设施检测、产品认证、专业技术培训等技术服务领域发挥了重要作用，成为集科研、开发、生产、咨询、人才培养与培训等业务为一体的轨道交通高新技术企业，是全路当之无愧的科研、试验、信息、标准制修订的研发中心。业已完成的大量重大、关键技术攻关与试验研究，积淀了厚重的专业基础理论，取得了 2300 多项科研成果。其中，有 170 多项获国家科技奖，600 多项获省、部级科技奖。

此时，由中国铁道科学研究院（以下简称“我院”）统筹组织科研人员，深入系统梳理总结优质科研成果，编著专业技术专著形成系列丛书，既是驱动我院科研人员自我深入总结，不断追求提高个人学术修养的发展动力，也是传承我院多年科研积累的知识结晶，有效夯实提升人才培养与培训内在品质的重要举措，更是打造我院核心竞争力，努力建设铁路科技创新研发中心并做大做强，彰显责任与担当的真实写照。

本套专业技术系列丛书作为“十二五”国家重点图书出版规划项目，充分反映了我院在推动轨道交通领域技术进步与学科发展中取得的基础理论研究和最新技术应用成果，内容囊括铁路运输组织、机车车辆及动车组技术、工务工程、材料应用、节能环保、检测与信息技术、标准化与计量，以及城轨交通等专业技术发展。

丛书在院编委会的指导下,尊重个人学术观点,鼓励支持有为的“铁科人”将科技才华呈现于行业科技之巅,并为致力于轨道交通现代化发展的追“梦”者们,汇聚知识的涓流、铸就成长的阶梯。

中国铁道科学研究院常务副院长

丛书编委会主任



2013 年 12 月

序

《高速铁路通信信号综合防雷技术》这一著作就要出版了,这是适应时代要求的著作。它的及时出版给我国防雷技术提供了包括传统科学和近年科学技术新成果、新事实的全面知识,一定会受到广大读者的广泛关注和欢迎。

雷电这一科学,是最古老而又最年轻,并且随着大科学、大技术、大工程的迅猛发展,又是一门最具活力的科学,由于工程建设、科学研究以及军事科技的安全需要,新成果不断出现,它又具有年轻科学的特点。另一方面,由于雷声轰鸣,震撼千里,加之它的极大破坏力,自然成为人类最早注意、观察、认知的重大自然现象。说它古老,是因为早在三千多年前的甲骨文中,就在带“雨”和“雨”字头的“露”等系列中,有了“雷”和“電”两个字(详见《甲骨文大辞典》)。分析这两个字,只有下面一“弯”之差,间接推测,中国古代已猜测到“雷”与“電”的关联。鲜为人知的是,比中国甲骨文更早的还有一种“砖瓦陶文”,它是向甲骨文过渡的一种文字,有些是两者很相似(详见《中国砖瓦陶文大辞典》和《砖瓦陶文辞典》)。仔细对比之后发现,带“雨”字头的许多字,它与甲骨文字稍有不同,但陶文中却找不到“電”字。这说明了人类的认识发展过程:首先观察到“雷”及其与“雨”的关系的诸字,但未猜测出“雷”与“電”的联系,或许根本还不知道有“電”。当然,如果按照近几百年科学技术的发展模式,上述内容只是人类认知发展的“观察”与“猜测”阶段,它远未达到现代科学技术的阶段,如培根的四阶段论:观察(包括记录)—测量—分析—验证。

再从防护技术来看,20世纪20年代以前,首先是“感应雷”防理论;30年代,由于输电电压等级和绝缘水平的升高,有可能抵抗住直击雷,所以才研究到直击雷问题。美国、苏联等国利用冲击电压发生器研究避雷针和避雷线的防护范围及其计算方法,并于30年代末40年代初进入“直击雷防护年代”。

在富兰克林的著名风筝试验之后不久,俄国物理学家罗莫诺索夫和利赫曼也做了重复试验,这次试验虽然证实了富兰克林的结论,但不幸导致雷击,使利赫曼以身殉职。而富兰克林当时还未认识到雷的强大威力能够打死人,否则他怎么也不敢带着儿子去做试验,而他最初的防护方案仅是将装于屋顶的避雷针的引下线从屋内引下来接地。此后,除了高耸的教堂和岗亭之外,由于尚无电气、电子设施的防雷需要,直击雷防护技术发展较慢。后来,随着电报、电话和电气设备的出现,才导致了“避雷器”、间隙性防雷器等针对感应雷进行波的防护装置的出现。直到1928年左右,基本理论研究都是感应雷在电力线和通信线路上的传输过程

及其理论计算。此后,在 20 世纪二三十年代交接之期,美国、苏联等才先后进行直击雷防护及计算方法的试验研究。现在,全世界的避雷针、避雷线的保护方法原理,基本上还是奠定于该时的人工雷模拟试验结果,以及对运行经验的观察、统计而做少量的校正和细化。自 20 世纪 30 年代末进入直击雷防护时代以来,全世界的发电厂和变电所大约有几十亿支避雷针在成功运行,这表明它极为可靠,失效率达到了千年一遇(中国电力部门的统计是 1300 年一遇,防护失效率约 0.5%)这样的特高防护质量。对于变电站,高压、超高压输电来自直击避雷线侵入波的危害,其防护系统各国都只达到了百年一遇水平(110kV 级为 80~100 年,220kV 级为 200 年)。对于 330~500kV 超高压站,设计目标值取 500 年一遇,各国运行部门均已感到满意。以上就是防雷技术的发展和当今防护要求的大背景。

该书具有以下几个特点:第一,知识的体系性与全面性。专业人员,手持一本即可掌握高速铁路通信信号系统防雷的基础知识,还包括防护技术以及防护装置和器件的原理,防护性能及其选用、试验及维护。第二,了解防雷技术的发展简史及总体趋势,可以避免在一些刊物上的重复“发明”、“发现”以及对一些早先技术的“创新”称号。第三,新颖性。书中的原理、方法、保护接线以及各种参数和标准,主要是引自国内外各行业,包括中国的电力、电信行业的数据,也就是多元化技术,做到了从各行业中取长补短,从而取得最佳效果。第四,首次较细致地介绍了自 20 世纪 30 年代以来,美国、苏联、中国等对避雷针和输电线路避雷线保护范围的经典“人工雷模拟试验”成果,以及依据该成果进一步完善的新的试验结果,得出各国标准中采用的保护范围计算方法。数十年来各国大体相同,均是按 0.1% 的失效率设计取值,美国后来采用 1% 的失效率设计取值,运行达到千年一遇失效的良好指标,非常可靠。

“书籍是人类进步的阶梯”,是思想和想象力的化身,书中图文共茂,令整个阅读过程既增长知识,又启发思考,还会引起读者的互动和共鸣,进而提出新的思想和实践方案。现在中国高铁技术处于世界先进水平,最近中国正与非洲一些国家加强合作,在不久将来“高铁”可能推广到非洲大陆,而那里是世界雷暴最强的一极。非洲的年平均雷暴日数水平(IKL)均在 150d/a 以上(中国电力部门援助西非多哥就特别加强了研究防雷问题),很多地区达到 80~200d/a 之高。所以本书应当考虑的问题不仅是适用于中国,还要适用于世界,特别是非洲大陆。现在中国的特高压交流(UHVAC)和直流输电(UHVDC)已领先世界各国并引导世界大电网(CIGRE)的发展,所有 4 项标准均采用中国标准,国际标准的 4 个秘书处也设在中国。中国的高铁也会是再一个覆盖世界的领先技术,这两个“高”将是中国对人类的两个重大贡献。中国人具有 5000 年文明史,在过去长达 15 个世纪中一直处于世界领先地位,只是近几百年才落在西方之后。今天,13 亿中国人正在继承祖辈的创新精神,努力实现中华民族伟大复兴的“中国梦”。铁路部门的同行们要

我写序,而我有幸成为该书的第一读者,感到特别荣幸。以上是我读后的有感之言,是为序。

中国大百科全书电工电子技术卷常务副主编

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized Chinese characters, likely '刘建' (Liu Jian).

2014年5月31日于北京椿树园

前 言

我国目前已经拥有世界最大规模以及最高运营速度的高速铁路网,并继续迅猛发展。高速铁路将我国许多大中城市连接起来,大大缩短了旅行时间,成为交通运输中崛起的生力军。它以安全、快速、正点、舒适的绝对优势将铁路带入一个崭新的发展阶段。

高速铁路是集各种高新技术于一身,由多个子系统构成的复杂自动化控制系统。其中,通信信号系统是高速铁路复杂的自动化控制系统中的重要子系统,是高速铁路的眼睛和神经,是安全、快速、正点的重要保证。以计算机为基础的通信信号系统、信息系统等,大量使用了耐能量能力极其微弱的微电子器件。因此,它们对周边的电磁环境影响越来越敏感,当干扰的能量达到 10^{-8}J 时大规模集成电路的端口就会被击穿毁坏,干扰的能量达到 10^{-9}J 时大规模集成电路就会工作异常。远方雷电电磁脉冲产生的雷电干扰可以达到这个量级,因此,雷电电磁脉冲是损害电气电子设备的重要原因之一。随着高速铁路自动化程度的提高,以及对计算机系统设备依赖性的增强,使得任何电子设备的故障都可以干扰到列车的正常运行,造成经济效益和社会效益的损失。我国高速铁路的特点是,大量采用以桥代路和穿山隧道,许多线路桥隧长度占线路总长的 70% 左右,使得电力牵引的接触网距地面的高度增加。在高速铁路的高架桥和隧道区段,原来敷设在普速铁路路基旁土壤中的通信信号电缆,只好敷设在高架桥上的水泥电缆槽和隧道内的水泥电缆槽里,失去土壤的电磁屏蔽作用。根据静电感应和电磁感应原理,在出现雷击时,高架桥上接触网和通信信号电缆在空间的感应电压高。也就是说,高速铁路线路的电磁环境比普速铁路恶劣。因此,出现了同样的通信信号设备安装在普速铁路区段雷害甚少,而安装在高速铁路区段后雷害不断的现象。为此,中国铁道科学研究院进行了“高速铁路综合雷电防护关键技术研究”的专题研究工作。

中国铁道科学研究院是我国从事电子设备防雷研究最早的单位之一。从 1965 年开始,中国铁道科学研究院就开始从事电子设备防雷研究,取得了不少防雷科研成果。在总结 40 多年的科研成果基础之上,结合对高速铁路系统雷电防护关键技术的研究,撰写了本书。希望通过本书,使铁路相关工作者能更深入地了解高速铁路电子设备产生雷害的原因并研究更加合理有效的防护方法,使通信信号设备在雷雨气候下不间断地工作。

本书从雷电发展历史着手,系统地阐述了雷电机理、接地和铁路综合接地系统、高速铁路综合防雷原理、防雷设备和雷击试压方法等现场迫切需要的防雷知识。适合铁路通信信号系统技术人员参考使用,也适合于铁路通信信号专业防雷

教学参考。

本书共七章。第1章绪论,从人类认识雷电科学的过程着手,介绍人类认识雷电科学的过程,并提出铁道系统弱电设备防雷科研的发展方向;第2章介绍雷电的基本知识,使读者对雷电产生的机理有所认识;第3章介绍雷电对人类的危害及雷电防护原理;第4章接地原理,阐述接地装置的要求、接地电阻的测试和高速铁路综合接地系统的组成;第5章防雷元件和防雷设备,介绍常用的基本防雷元件和防雷装置;第6章高速铁路信号设备机房的综合防雷;第7章雷击试验和电子设备雷击试验方法。

本书由付茂金负责统稿,并撰写第3、5章;邱传睿撰写第1、6章;阮小飞撰写第2章;王州龙撰写第4章;李永毅撰写第7章。陈朝凯审阅了全稿。

本书的出版得到中国铁道科学研究院、中国铁道科学研究院通信信号研究所和中国铁道科学研究院研究生部各级领导的关怀。在搜集现场雷害资料时,得到北京铁路局、哈尔滨铁路局、沈阳铁路局、上海铁路局、广州铁路集团公司、武汉铁路局、郑州铁路局、南宁铁路局和太原铁路局电务处防雷专家的大力协助,在此表示诚挚的感谢!

铁路通信信号防雷技术涉及的技术领域较广,尤其高速铁路通信信号设备复杂,而作者水平有限,难免出现疏漏及欠妥之处,敬请读者批评指正。

作 者

2013年12月8日

目 录

“轨道交通科技攻关学术著作系列”序

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 人类认识雷电科学的过程	1
1.2 大气电学的发展	4
1.3 现代防雷工程的发展与铁道系统弱电设备防雷科研	5
1.4 雷电干扰防护的研究方法	7
第 2 章 雷电的基本知识	9
2.1 雷电原理	9
2.1.1 雷电的形成	9
2.1.2 强雷暴云的种类	21
2.1.3 雷云带电原理	24
2.1.4 闪电的分类及雷云对地的放电过程	28
2.2 雷电的特性	42
2.2.1 雷电活动的基本规律	42
2.2.2 闪电的电场和磁场	45
2.2.3 放电时的等值电路	54
2.3 雷电的基本参数和雷电的特性	56
2.3.1 雷电观测的直击雷波形	56
2.3.2 雷电流幅值积累	57
2.3.3 模拟雷电冲击波标准波形	58
2.4 雷电的频谱和传输波过程	61
2.4.1 雷电的频谱	61
2.4.2 雷电的传输波过程	64
2.5 IEC 标准对雷电的描述	74
2.5.1 对地雷闪	74
2.5.2 雷电流参数	76
第 3 章 雷电对人类的危害及雷电防护原理	80
3.1 雷电对人类的危害	80

3.1.1	直击雷和雷电电磁脉冲	80
3.1.2	雷电的功率	83
3.1.3	雷电的危害	83
3.2	雷电危害的机理	86
3.2.1	雷电的热效应	86
3.2.2	雷电的冲击波效应	87
3.2.3	雷电流的电动力效应	88
3.2.4	雷电的电磁效应和静电效应	90
3.2.5	雷电的其他效应	92
3.3	雷电防护的基本原则和基本方法	93
3.3.1	雷电防护的基本原则	93
3.3.2	雷电防护的基本方法	94
第4章	接地原理	96
4.1	地和接地	96
4.1.1	地和接地的概念	96
4.1.2	接地的历史发展	97
4.1.3	接地的分类	99
4.1.4	接地的目的	100
4.2	接地装置和接地系统	100
4.2.1	接地装置	100
4.2.2	接地系统	102
4.3	接地装置的接地电阻	104
4.3.1	接地电阻的基本概念	104
4.3.2	垂直接地体间的散流屏蔽现象	106
4.4	接地电阻的计算	107
4.4.1	接地电阻的组成	107
4.4.2	土壤电阻率	109
4.4.3	人工接地装置接地电阻的计算	112
4.4.4	自然接地装置接地电阻的计算	120
4.4.5	工频接地电阻和冲击接地阻抗的关系	124
4.5	降低接地电阻的措施	126
4.5.1	更换土壤	126
4.5.2	适当增加接地体长度和与土壤的接触面积,深埋接地体	127
4.5.3	添加降阻剂	127
4.5.4	外引接地法	128

4.5.5 深井法	130
4.6 接地电阻的测试	130
4.6.1 接地电阻测试原理	130
4.6.2 测量电流的确定	133
4.6.3 测量电极的安排方式	133
4.6.4 用直线法和夹角法测试接地电阻	134
4.6.5 用仪表测试接地电阻	138
4.6.6 影响接地电阻测试的因素和解决方法	143
4.7 土壤电阻率测量	145
4.7.1 土壤电阻率测量原理	146
4.7.2 土壤电阻率测量方法及季节对测量的影响	146
4.8 综合接地系统	149
4.8.1 高速铁路综合接地系统概念	149
4.8.2 铁路综合接地系统的构成	151
4.8.3 贯通地线	158
4.8.4 综合接地系统与高铁沿线构筑物及电气电子设备的连接	163
第5章 防雷元件和防雷设备	164
5.1 常用防雷器件的工作原理及性能	164
5.1.1 气体放电管	164
5.1.2 晶闸管	186
5.1.3 压敏电阻(MOV)	192
5.1.4 瞬态抑制二极管	218
5.2 防雷器材	225
5.2.1 避雷针	225
5.2.2 防雷变压器和滤波器	234
5.2.3 浪涌保护器 SPD	240
5.2.4 用于电信和信号网络防雷的 SPD	248
5.2.5 铁路信号用 SPD	259
第6章 高速铁路信号设备机房的综合防雷	264
6.1 信号设备雷害原理	264
6.1.1 进入通信信号机房的雷电电磁脉冲	264
6.1.2 进入普速铁路通信信号系统的传导雷	267
6.1.3 高速铁路系统通过线路引入的雷电电磁脉冲	268
6.1.4 接触网引雷时地电位上升对信号电缆的影响	278
6.1.5 通信信号机房雷电电磁脉冲的强度	281

6.1.6	通信信号设备的耐雷电能力	286
6.2	通信信号设备机房的综合防雷	290
6.2.1	机房综合防雷基本要求	290
6.2.2	雷电防护区的划分与系统防雷的关系	291
6.2.3	机房场地电磁环境的优化	292
6.2.4	接地装置和等电位连接	296
6.2.5	外线引入机房原则和接地分析	300
6.2.6	协调配合的 SPD 防护	305
6.3	SPD 的安装	308
6.3.1	电源设备 SPD	308
6.3.2	铁路信号设备 SPD	313
6.4	安装方式对防雷效果的影响	317
6.4.1	SPD 安装方法的重要性	317
6.4.2	SPD 的接地	323
第 7 章	雷击试验和电子设备雷击试验方法	325
7.1	雷击试验	325
7.1.1	雷击试验波形	325
7.1.2	雷击试验设备	329
7.2	电子设备雷击试验	343
7.2.1	试验基本要求	343
7.2.2	试验方法	344
7.2.3	试验严酷等级	346
主要参考文献		349

第 1 章 绪 论

1.1 人类认识雷电科学的过程

雷电是人类最早接触的恢宏自然现象。雷电造成森林、草原大火,住宅击毁,生物击毙,使古时人们谈而生畏。人类对雷电这一宏伟的自然现象进行了不断的探索,但一直没找到科学的解释方法。进入 18 世纪,为揭示雷电的本质,许多科学家进行了无数观测和试验研究。1706 年,英国伦敦皇家学会馆长 Hauksbee 在用玻璃棒试验摩擦生电时,发现摩擦生电产生的闪光与雷击闪电极相似。1707 年,英国的 Wall 在用琥珀做摩擦生电试验时,观察到摩擦产生的放电不但与闪电一样地闪光,还可以听到霹雳响声,于是他将这种现象与大气放电联系起来,认为雷电是与摩擦产生放电类似的“天对地”的放电现象。1736 年,英国人 Gray 进一步从试验中总结出“闪电与电火花本质相同”。18 世纪美国最伟大的科学家和发明家 Franklin 开始对电闪雷鸣和云的形成进行观察和思考,认为云层由于不断受蒸汽的摩擦而带电,天上的闪电和实验室中的放电可能是一回事。并且他列举出 12 条关于闪电和用莱顿瓶试验产生电火花的相似性:①发光;②光的颜色;③弯曲的方向;④快速运动;⑤被金属传导;⑥在爆发时发出霹雳声和噪声;⑦在水中或冰里存在;⑧劈裂了它所通过的物体;⑨杀死动物;⑩熔化金属;⑪使易燃物着火;⑫含硫黄气味。为了进一步验证他的上述想法,他在 1750 年 7 月最先提出岗亭试验的设想,以证明云层中的电和摩擦电的同一性。他所说的岗亭,是建在高塔或教堂尖端的方形木楼,铁杆固定在绝缘支架上,从岗亭顶窗穿出,笔直伸向天空,高出岗亭 6~9m。他建议操作者站在绝缘木板上,密切注视天空,当乌云掠过上空时,手持绝缘环将一根接地的导体拿近铁杆,使其尖端对着铁杆,但留出点空隙。他断言,在导线和铁杆之间将有电火花出现。1752 年 5 月,法国达里巴尔按照 Franklin 设计的方案在巴黎近郊的一个高地上建了一座岗亭,利用伸出岗亭的尖杆顶铁杆,首次在雷雨成功地云层中的电引入莱顿瓶,并做了放电试验^[1]。

虽然 Franklin 自己没有做岗亭试验,但他在 1752 年 7 月,与他的儿子一起在美国费城做了一个震撼世界的风筝试验。试验那天,费城雷雨交加,当风筝上面飘浮着带雷电的云时,风筝的上端的 0.3m 长的尖铁丝立即从云中取得了“电”,并通过和铁丝连接的亚麻线使莱顿瓶收集到云层中的“电”。Franklin 发现这个“电”发

生放电时的情况与用摩擦生电的莱顿瓶放电的情况毫无二致。这样,云层中的电和摩擦电的同一性终于被证明了。Franklin 理性地解释了人们感觉最神秘、最可怕的现象,证明电效应是经常发生的自然现象。Franklin 也因这项成就,于 1753 年 11 月荣获了伦敦皇家学会颁发的柯普勒金质奖章。后来, Frankl in 提出了发明避雷针的设想,他说,既然尖锐的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,那么尖锐导体对于人类可能有些用处。他建议将一根上端尖锐的铁杆涂上一层防锈物,安装在房屋的最高处,沿着房屋的墙壁直通地里;或安装在船桅杆顶端,沿着桅杆向下直至将其尾部抛入水中,它们就能“在云层将要产生电击的千钧一发之际,静悄悄地把电从云中吸走,因而使我们免受最突然、最骇人的悲剧”。1754 年,捷克科学家吉韦茨根据 Frankl in 的建议制造了第一个避雷针。1760 年, Frankl in 在费城的一座大楼上也竖起了一根避雷针。美洲、欧洲,迅速推广了用安装避雷针保护教堂等高大建筑物,后人称其为 Frankl in 避雷针。200 多年来, Frankl in 避雷针对保护建筑物免遭雷击起了公认的良好效果,有效地保护了其有效保护范围内的建筑物、构筑物及其他高大目标。由于避雷针对直击雷防护的有效性,避雷针一直广泛用到今天。避雷针实际是一个引雷设备,它将雷云放电引向自己后到大地中泄放,使雷击不至于发生在被它保护的物体上。

Frankl in 发明避雷针之后,防雷工程技术延续了百余年几乎没有发展。其中的原因不仅是当时人类对雷电的认识受条件的限制,而且还由于实际需要没有变化。避雷针最早是为保护教堂等高大建筑物而设计,发明后 100 多年一直用它保护高大建筑物免受雷电袭击,直到 1876 年美国的贝尔发明电话,电气设备的防雷得到重视后,雷电防护才迈上一个新台阶。由于适应了社会的需要,电话发展极快,1880 年仅美国就有了 48 000 台电话,因此需要传递话音的架空长导线。架空长导线成为闪电袭击的新对象,为了保护电话通信设备和人的安全,于是出现了第二种避雷装置——导雷器,它实际上是一个火花间隙,接在电话入户线路与大地之间。雷电击中架空电话线后,雷电产生的高电压沿电话线传输,到达导雷器后将导雷器的火花间隙击穿短路,使雷电流泄放入地,而不进入户内伤害电话设备和人。这种新事物就是最原始的避雷器,英文称为“Arrester”,“Arrest”加后缀“er”人性化后有捕获者的意思。

1887 年伦敦筹资百万英镑建立供电公司,标志着电力供应由分散的一家一户发电开始转变为由中心电站集中供电。输电网迅速扩展,使高电压输电网的过电压保护和防雷成为电力系统极为重要的项目。19 世纪 90 年代,英国的 Thomson 发明了磁吹间隙保护直流电力设备,这可以说是磁吹避雷器的前身。1901 年德国制成串联线性电阻限流的角形间隙,这是阀型避雷器的前身。20 世纪电力工程开始注意到雷击还有二次效应,即雷闪在大气空间产生的感应磁场,也就是雷电感应