

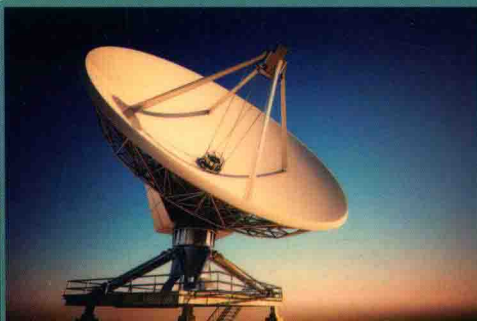
雷电监测与防护技术丛书

防雷装置与器件

Lightning Protection System
and Device

郭在华 等◎著

Lightning Protection System



 中国工信出版集团

 电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

雷电监测与防护技术丛书

防雷装置与器件

郭在华 刘 俊 覃彬全 常 越 著



電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

雷电防护装置是一个综合的防护系统,它包括外部防雷装置与内部防雷装置。为了加深技术与施工人员对防雷装置与器件的了解,本书从材料与器件的角度来详细介绍防雷工程中用到的材料、工艺、装置及各类防雷电子元器件。本书共8章,第1章防雷技术基础,为入门者提供雷电及雷电防护的基础知识;第2章防雷装置的材料与工艺,介绍了防雷工程中用到的金属与非金属材料;第3章介绍金属材料的加工与处理,让读者了解在加工防雷部件的过程中常用到的切削、防腐、连接、镀层等工艺;第4章介绍外部防雷装置的设计与制作方法、材料选择、安装应用等;第5章主要介绍过电压保护器的发展、种类及性能参数;第6章介绍应用于低压系统的防雷电子元件,从元件的结构、原理、性能指标、应用等方面进行详细描述;第7章介绍应用于低压系统的电涌保护器,如电源SPD、信号SPD及天馈线SPD的原理、结构、性能与安装应用等;第8章介绍三相串联型电源防雷箱的设计过程。

本书力求从新的角度来完善防雷工程与技术人员知识结构,增加读者对防雷材料与器件性能的认识,从而提高防雷工程设计与施工水平。本书可作为高等院校防雷相关专业的教材,也可作为从事防雷工程设计、施工、检测、管理、建筑电气系统设计等人员的技术参考书或专业培训教材。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

防雷装置与器件 / 郭在华等著. —北京:电子工业出版社, 2017.9

(雷电监测与防护技术丛书)

ISBN 978-7-121-28731-2

I. ①防… II. ①郭… III. ①防雷设施—高等学校—教材 IV. ①TU895

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第204118号

策划编辑:李 敏

责任编辑:李 敏 特约编辑:刘广钦

印 刷:涿州市京南印刷厂

装 订:涿州市京南印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:15.5 字数:348千字

版 次:2017年9月第1版

印 次:2017年9月第1次印刷

定 价:59.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888,88258888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式:010-88254753 或 limin@phei.com.cn。



作者简介

郭在华，成都信息工程大学副教授，生于1975年，中共党员，博士。2005年筹建雷电防护科学与技术本科专业，长期从事本科生、研究生的科研、教学与人才培养工作，曾任教研室主任，现任成都信息工程大学雷电监测与防护技术研究所所长，兼任四川气象学会雷电分会副主任委员、四川省电子学会雷电与电磁脉冲专业委员会副主任委员、中国气象学会防雷电分会会员。研究方向为雷电科学与防护技术、大气探测信息处理等，特别在防雷装置智能化监测、接地电阻在线监测领域有多项成果与发明专利。

雷电监测与防护技术丛书

《防雷装置与器件》

《雷电灾害风险评估》

《雷电监测与预警技术》

《现代防雷技术》

《防雷装置在线监测技术》

前言



雷电灾害已经成为电子信息社会的一大公害，随着电子与电气设备的广泛应用，全社会对雷电灾害的认识与应对能力得到了极大的提高，“防雷”已经被社会公众接受。在传统的雷电防护技术中，人类把注意力放在直接雷击防护上，认为雷电的防护只要安装一支避雷针（接闪竿）即可，这种方法在我国的历史文献中与古建筑上可以找到久远的佐证，即人类的直接雷击防护能力和水平在一千多年前已经不可小觑。富兰克林通过风筝试验及对雷电的认识，让这种雷击防护方法变成了一种可以规范的技术手段，让人类对雷电的认识上了一个新台阶，人类从此进入了富兰克林避雷针时代。

远程电力的输送使得雷电灾害出现了新的形式，即不以直接接闪伤害为特征的雷击事故开始出现。雷电在闪击过程中，以不同形式向周围三维空间泄放能量，电、磁、光、声、热等都是雷电能量的体现。由于闪电的瞬发性，各种形式的能量都在极短的时间内以极端的形式出现，因此几乎每种形式的能量泄放都会造成雷电灾害。我们通常遇到的雷电灾害仅是电流触及物体形成的，也就是所谓的直接雷击。因此，当雷电灾害的承受对象不断增加，并且对雷电各要素的敏感性发生变化时，多种多样的雷电灾害便出现了。例如，输电线路对雷电磁场的感应电压不能忽视，此时雷电防护的手段与方法便不再局限于接闪器，而需要通过新的装置来完成雷电过电压的防护，因此，高压避雷器开始出现。

信息技术的发展，使得众多的电子系统进入千家万户、各行各业。全社会每年数以亿元计的雷电灾害损失来自低压电气系统与电子系统的雷电灾害损失。电子信

息系统的雷电防护已经成为目前防雷领域最为紧迫的任务之一，也促使防雷技术向精细化防护的方向发展。

另外，雷电防护技术总是与材料的进步和器件性能的提升紧密联系在一起。不同的防护对象需要不同的防护方案，当技术方案确定时，选择和使用合适的防雷装置，就成为防护系统成败的关键。

本书从材料与器件的角度来描述在防雷工程中如何合理、正确地选择和使用各种防雷器件和材料，达到安全可靠、技术先进、经济合理的防护目的。由于编者水平限制，书中不妥之处甚至错误在所难免，敬请在阅读过程中批评指正。

作 者

2017 年 3 月

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396; (010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

目 录



绪论	1
第 1 章 防雷技术基础	3
1.1 概述	3
1.1.1 机械时代雷电防护技术	6
1.1.2 电气时代防雷技术	7
1.1.3 电子信息时代防雷技术	8
1.2 雷电流的特性	11
1.2.1 雷电流工程模型	11
1.2.2 雷电通道底部电流模型	14
1.2.3 闪电的电荷量	16
1.2.4 雷电波频谱	16
1.2.5 闪电的分类	16
1.3 雷电的气候特征参数	16
1.4 我国的雷电活动规律	17
1.4.1 我国的雷电分布特征	17
1.4.2 雷击的选择	18

1.5 雷电的危害	19
1.5.1 直击雷的破坏作用	20
1.5.2 雷电电磁脉冲的破坏作用	21
1.5.3 雷电危害的新变化	22
第2章 防雷装置的材料与工艺	23
2.1 材料的分类与性能	24
2.1.1 材料的分类	24
2.1.2 材料的性能	25
2.2 金属材料	25
2.2.1 金属的物理性能	26
2.2.2 金属的化学性能	29
2.2.3 金属的力学性能	30
2.2.4 金属的工艺性能	33
2.3 金属的相	36
2.3.1 金属的晶体结构	37
2.3.2 合金的结构及相图	38
2.4 防雷工程中的非金属材料	41
2.4.1 绝缘材料	41
2.4.2 常用绝缘材料	42
2.4.3 导线的绝缘	43
2.4.4 导线连接处的绝缘处理	44
2.4.5 常见的安装材料	46
第3章 金属材料的加工与处理	47
3.1 冷镀	47
3.2 热镀	50
3.3 连接	52
3.3.1 焊接	52
3.3.2 搭接	54

3.3.3 铆接	55
3.3.4 螺栓连接	55
3.3.5 螺纹连接	56
3.4 防腐处理	57
第4章 外部防雷装置	61
4.1 接闪器	61
4.1.1 接闪器工作原理	61
4.1.2 接闪器防护范围设计	62
4.2 接闪竿风荷载影响	68
4.3 接闪器制作	69
4.3.1 接闪器材料	69
4.3.2 接闪器规格要求	72
4.3.3 利用金属屋面与金属构件作接闪器	75
4.4 接闪竿制作与安装	76
4.4.1 接闪竿的分段设计	76
4.4.2 接闪竿的连接	78
4.4.3 接闪竿的安装	78
4.5 引下线及断接卡	83
4.5.1 引下线	83
4.5.2 引下线敷设	85
4.5.3 断接卡	87
4.6 均压环	88
4.6.1 雷电侧击及其防护	88
4.6.2 均压环及其安装	89
4.7 屏蔽体	91
4.7.1 屏蔽	91
4.7.2 屏蔽措施	95

4.8 等电位连接导体	98
4.8.1 等电位连接	98
4.8.2 等电位连接导体的材料	99
4.8.3 等电位连接实施	105
4.9 接地装置	106
4.9.1 接地电阻	106
4.9.2 接地体	106
4.9.3 均匀土壤中接地体的工频接地电阻计算	107
4.9.4 人工接地体的接地电阻	108
4.9.5 自然接地体	111
4.10 冲击接地电阻	111
4.10.1 接地的冲击效应	112
4.10.2 接地体的有效长度	112
4.10.3 冲击接地电阻的计算	112
4.10.4 接地体材料选择	113
4.10.5 接地装置设计	117
4.10.6 接地装置的安装	118
4.10.7 接地体的焊接	120
4.11 降阻剂	121
4.11.1 降阻剂的降阻机理	121
4.11.2 降阻剂的分类和应用	123
第5章 过电压保护器	125
5.1 工作原理	126
5.2 伏秒特性与工频续流	127
5.3 电力避雷器分类	127
5.3.1 保护间隙	128
5.3.2 排气式避雷器	128
5.3.3 阀式避雷器	129

5.3.4	特殊场所中使用的避雷器	130
5.3.5	直流避雷器	131
5.3.6	氧化锌避雷器	132
5.4	避雷器的电气性能	132
第 6 章	防雷元器件	134
6.1	放电间隙	135
6.2	陶瓷气体放电管	139
6.2.1	结构组成	139
6.2.2	响应特性	140
6.2.3	电气使用	142
6.3	玻璃放电管	143
6.4	金属氧化物压敏电阻器	144
6.4.1	氧化锌压敏电阻工作原理	147
6.4.2	压敏电阻的失效	148
6.4.3	氧化锌压敏电阻的主要技术参数	148
6.4.4	压敏电阻的优点	152
6.4.5	压敏电阻使用	152
6.5	导通型半导体避雷器件	153
6.5.1	工作原理	153
6.5.2	应用场合	154
6.6	稳压型半导体器件	155
6.6.1	基本原理	155
6.6.2	瞬态电压抑制二极管 TVS	157
6.6.3	稳压型半导体器件的应用	159
6.6.4	TVS 选型总结	161
6.7	熔断电阻	161
6.7.1	熔断电阻分类	162
6.7.2	保险管、熔断器	164
6.7.3	空气开关	164

6.8 自恢复保险丝 (PPTC)	165
6.9 晶闸管	166
6.9.1 晶闸管的工作原理	167
6.9.2 晶闸管的种类	167
6.10 隔离变压器	167
6.10.1 基本原理	167
6.10.2 应用方法	168
6.11 光电耦合隔离器	169
6.12 去耦器	170
第7章 电涌保护器	171
7.1 电涌保护器的分类	173
7.2 SPD 性能参数	176
7.3 SPD 选用	178
7.3.1 SPD 的选择	179
7.3.2 SPD 失效时的安全性	180
7.4 SPD 模块	181
7.4.1 外壳	181
7.4.2 接线端子	182
7.4.3 连接导体	182
7.4.4 SPD 中的电动力问题	183
7.4.5 电气间隙和爬电距离	183
7.4.6 灌封材料	183
7.4.7 SPD 结构的冲击验证试验	184
7.4.8 安全性	184
7.4.9 SPD 过热脱离器	184
7.4.10 SPD 的状态指示	185
7.4.11 MOV 漏电流持续增大的原因	186
7.5 防雷箱	186

7.6 信号网络的电涌保护器	188
7.6.1 信号 SPD	188
7.6.2 信号 SPD 选择	189
7.7 电源 SPD 的分类	190
7.7.1 A 级 SPD	191
7.7.2 B 级 SPD	192
7.7.3 C 级 SPD	193
7.7.4 D 级 SPD	193
7.8 电源 SPD 保护模式	193
7.8.1 TN-S 电力接地系统安装 SPD	195
7.8.2 TN-C 电力接地系统安装 SPD	196
7.8.3 TN-C-S 电力接地系统安装 SPD	196
7.8.4 TT 电力接地系统安装 SPD	197
7.8.5 IT 电力接地系统安装 SPD	197
7.9 电源 SPD 保护模块的内部结构	198
7.9.1 压敏电阻模块	198
7.9.2 气体间隙模块	200
7.9.3 压敏电阻与间隙串联组合模块	201
7.9.4 压敏电阻与间隙并联组合模块	201
7.9.5 压敏电阻与半导体管并联组合模块	202
7.9.6 二次保护式压敏电阻模块	202
7.10 电源 SPD 组合结构	203
7.10.1 单级并联 SPD	203
7.10.2 多级并联 SPD	204
7.10.3 多级串联 SPD	205
7.11 信号 SPD 模式及结构	206
7.11.1 信号 SPD 的保护模式	207
7.11.2 信号 SPD 的结构与电路设计	207
7.11.3 信号 SPD 的参数要求	211

7.12 天馈线 SPD	213
7.12.1 天馈线 SPD 的设计要求	213
7.12.2 天馈线 SPD 的分类	215
7.13 低压电涌保护器 SPD 的安装	215
7.13.1 电源 SPD 的安装	215
7.13.2 信号 SPD 的安装	219
7.13.3 天馈线 SPD 的安装	221
第 8 章 三相串联型电源防雷箱的设计	222
8.1 热脱离机构原理	223
8.2 压敏电阻的选型及配置	224
8.2.1 两级通流容量的配置	224
8.2.2 压敏型号的选择	224
8.2.3 压敏芯片配对	224
8.3 热脱离机构设计	225
8.3.1 脱扣弹片材料的选择	225
8.3.2 脱扣弹片上的热传导分析	226
8.3.3 脱扣弹片结构设计	227
8.3.4 低温焊锡的选择	228
8.3.5 热脱离结构整体设计	229
8.4 去耦装置设计	230
8.5 防雷箱电路设计	230
8.5.1 主电路设计	230
8.5.2 辅助电路设计	231

绪 论



雷电是一种自然大气放电现象，雷电有时也会造成自然灾害。雷电灾害的范围和表现形式在人类社会的发展过程中也在不断发生变化，与此同时，雷电科学与防护技术在人类认识雷电、抵御雷电灾害的过程中也不断得到发展。

全球每一时刻大约有 2000 个地点遭遇雷暴，平均每天发生约 800 万次闪电，每次闪电在微秒级的瞬间释放出约 55kWh 的能量。我们生存的环境既被动地接受自然灾害的侵袭，又主动地为灾害的形成和发展提供条件。从久远的过去开始，雷电就对人类、自然资源和人类创造的物质文明构成巨大的威胁。例如，森林火灾有 50% 以上因雷电引发；人们居住生活的建筑物屡遭雷击破坏；电力、石化等工业设施常因雷击而发生灾难性事故。不难看出，雷电灾害的范围随着社会发展而扩大，其表现形式随其范围扩大而复杂。

信息、生物、海洋、航天、能源、材料等高技术的崛起促进了社会生产力的迅速发展。作为信息技术的基础，微电子技术具有很好的发展态势和巨大的影响，雷电或更确切地说伴随雷电产生的雷电电磁脉冲（LEMP）对微电子设备存在着严重的潜在不安全性。这是因为微电子设备只耐低压，对电磁脉冲特别敏感。因此，当现代社会越来越依赖通信、电子、计算机等微电子设备时，雷电通过其对微电子设备的破坏作用影响到高技术的应用，其灾害影响可能波及千家万户和社会经济生活各个方面。直接雷击的声、光、电、磁、热等现象同时发生，可击毁其周边的建筑物、生命与财产。因此，LEMP 是现代雷电灾害最显著的特征，也是防雷技术最需要解决的重要课题之一。

防雷装置（LPS）的基本功能是保护生命和财产免遭雷电灾害或减小这种灾害的程度。经过 200 多年的探索和实践，人们得出这样一个基本结论：实现雷电防护的基本途径是提供一个使雷电（包括雷电电磁脉冲）对地泄放的合理路径，而不是任其随机地选择放电通道，其含义是控制雷击能量的泄放或转换。

按照防雷区的划分，防雷装置可分为外部防雷装置（ELPS）和内部防雷装置（ILPS）两类。一般而言，建筑物防直击雷可归为外部雷电防护；而雷电电磁脉冲（LEMP）的防护可归为内部雷电防护。通常 ELPS 和 ILPS 并非是相互独立的，若建筑物所处的空间、地理环境和其内部各种电气电子及机械设备不同，则所需要的 LPS 往往也不同。这里不