

The Technical Manual of Lightning
Protection for Telecommunication

通信防雷 技术手册

(精装版)

■ 刘裕城 韩志强 著

T

he Technical Manual of Lightning
Protection for Telecommunication

通信防雷 技术手册

(精装版)

■ 刘裕城 韩志强 著

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

通信防雷技术手册 / 刘裕成, 韩志强著. -- 北京 :
人民邮电出版社, 2017. 4
ISBN 978-7-115-45295-5

I. ①通… II. ①刘… ②韩… III. ①通信系统—防
雷—技术手册 IV. ①TN914-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第057420号

内 容 提 要

通信防雷主要采用“避”和“抗”两种方法。“避”就是尽量避开雷击,“抗”主要是提高设施和设备的抗雷击能力。本书是作者的实战经验总结,作者认为防雷技术还是基于电磁场和电工理论,因此本书也着重于防雷基础理论知识,并基于此阐述了通信系统的防雷技术,包括直击雷的防护、感应雷的防护、接地技术、通信线路的防雷、通信中心(局)的防雷、无线基站的防雷等。

本书适合通信企业防雷基础试验研究、通信局站防雷工程设计、防雷产品开发以及测试设备研制的人员阅读。

-
- ◆ 著 刘裕成 韩志强
责任编辑 李 强
责任印制 彭志环
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京圣夫亚美印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 8.25 2017 年 4 月第 1 版
字数: 102 千字 2017 年 4 月北京第 1 次印刷
-

定价: 49.00 元

读者服务热线: (010)81055488 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

前 言

通信防雷技术随着通信设备的不断更新而发展。初期，通信设备使用无源电器和电子管，抗雷击能力较高，但随着晶体管和大规模集成电路的应用，以及设备越来越多地安装在易受雷击的暴露环境下，雷害问题变得严重起来，通信防雷技术也变得更加重要。

通信防雷主要采用“避”和“抗”两种方法。“避”就是尽量避开雷击，“抗”主要是提高设施和设备的抗雷击能力。防雷技术基于电磁场和电工理论。本书基于防雷基础理论知识，阐述了通信系统的防雷技术。

作者工作于信息产业通信产品防护性能质量监督检验中心，该单位隶属于中国电信股份有限公司广东研究院。作者从 20 世纪 50 年代开始研究通信防雷技术，进行了雷电参数观察和试验研究等基础工作，为国际电信联盟 ITU-T 的防护导则提供了雷电数据，主持完成了多项国家和通信行业防雷

标准的制定。

作者毕业于高电压技术专业，从 20 世纪 50 年代至今一直从事通信防雷技术研究，主持完成了多项国家和通信行业防雷标准的制定，主持了多个防雷项目的研究，曾获得多项国家和行业奖励。其研究项目涉及基础试验研究、通信局站防雷工程设计、防雷产品开发以及测试设备研制等。本书也是作者的实际工作经验总结。

目 录

第 1 章 雷电的产生及其参数.....	1
1.1 雷电的产生.....	1
1.2 雷电的传播.....	3
1.3 雷电参数.....	4
1.4 雷电日.....	4
1.5 雷电流幅值.....	7
1.6 波头时间.....	8
1.7 波尾时间.....	8
1.8 雷电流陡度.....	8
1.9 雷电的频率.....	9
1.10 常用雷电压、雷电流波形.....	9

第 2 章 雷电如何对通信设备造成危害	11
2.1 直击雷对通信设备的危害	11
2.1.1 直击雷击中通信机楼	12
2.1.2 直击雷击中通信线路	14
2.1.3 直击雷击中电源线路	15
2.2 感应雷击的影响	15
2.2.1 感应雷击对通信设备的影响	16
2.2.2 感应雷击对通信线路和电源线的影响	16
第 3 章 雷击防护技术简介	17
3.1 避开雷击	17
3.2 消雷	18
3.3 安装防雷保护装置	19
第 4 章 直击雷的防护	20
4.1 雷击分区	20
4.2 雷击保护的分级	21
4.3 通信大楼的直击雷防护系统	23
4.3.1 避雷针	23
4.3.2 引下线	24
4.3.3 地网	25
4.4 地电位升的防护	26
4.5 电位分布不均的防护——联合接地和单点接地	26
4.6 空间电磁感应的防护	27
4.7 跨步电压的防护	28
4.8 接触电压的防护	28
第 5 章 感应雷的防护	29
5.1 减少感应雷电压和雷电流	29

5.1.1	减少感应面积	30
5.1.2	交叉抵消	30
5.1.3	屏蔽	31
5.2	提高抗过电压、过电流的能力	31
5.2.1	变压器和差模电路	31
5.2.2	耐雷水平高的电路和器件	32
5.2.3	消波	32
5.2.4	避雷器抑制雷电压	32
5.2.5	限流装置抑制雷电流	33
5.2.6	软件防护	34
第 6 章	接地技术	35
6.1	接地电阻	36
6.2	接地电阻的计算	37
6.3	地网的主要结构	40
6.4	降低接地电阻措施	42
6.5	接地电阻测试方法	43
第 7 章	电源防雷及避雷器	45
7.1	电源雷害	45
7.2	电源雷害的防护	46
7.3	避雷器	46
7.4	埋地电缆及电容	48
7.5	限流电感	49
7.6	防雷变压器	49
7.7	自动重合闸	50
第 8 章	信号线防雷及避雷器	51
8.1	信号线雷害	51

8.2	信号线雷害的防护	51
8.3	变压器隔离和差模电路	52
8.4	布线	53
8.5	屏蔽	53
8.6	避雷器	54
8.7	限流阻抗	55
8.8	软件防护	56
第 9 章	通信线路的防雷	57
9.1	电缆通信线路的直击雷防护	57
9.2	电缆通信线路的感应雷击防护	59
9.3	光纤通信线路的直击雷防护	59
第 10 章	通信中心（局）的防雷	61
10.1	直击雷防护	61
10.1.1	防雷类别	61
10.1.2	接闪器	62
10.1.3	接地引下线	62
10.1.4	地网	62
10.1.5	接地引出线	63
10.2	地线系统	63
10.3	机房设备接地布置——等电位连接	64
10.4	线缆进局	65
10.5	电源防雷	65
10.5.1	电缆进线	65
10.5.2	电源避雷器	66
10.6	信号线防雷	67
10.7	总配线架的防雷	67

10.7.1	三级保护	68
10.7.2	总配线架 MDF	69
第 11 章 无线基站的防雷		78
11.1	雷击引入途径	78
11.2	直击雷防护	79
11.2.1	防雷类别和要求	79
11.2.2	接闪器	80
11.2.3	接地引下线	80
11.2.4	地网	81
11.3	天线的防护	81
11.4	天馈线及天馈电端口的防护	82
11.5	时钟信号系统的防护	84
11.6	信号/控制端口的防护	84
11.7	电源端口的防护	85
11.8	光缆的防雷	86
第 12 章 避雷器（浪涌保护器）		87
12.1	避雷器的工作原理	87
12.2	避雷器主要元器件	88
12.2.1	压敏电阻	90
12.2.2	雪崩二极管	98
12.2.3	气体放电管	99
12.2.4	晶闸管	103
12.3	电源避雷器的工作原理和主要技术参数	106
12.3.1	电源避雷器的工作原理	106
12.3.2	电源避雷器主要技术参数	108
12.3.3	电源避雷器应用注意事项	111

12.4 信号避雷器的工作原理和主要技术参数113

12.4.1 信号避雷器的工作原理113

12.4.2 信号避雷器主要技术参数117

12.4.3 信号避雷器应用注意事项120

第 1 章

雷电的产生及其参数

1.1 雷电的产生

闪电俗称雷电，是大气中发生的超长、超强的火花放电现象。按发生的部位可分为云内放电、云际放电和云地放电三种。云地放电也称地闪，占闪电总数的 $1/6 \sim 1/3$ ，对人类活动和生命安全有较大威胁，如图 1.1 所示。人们经过观测和试验研究，已经初步掌握了雷电的一些特性，但对其形成机理还有待进一步的认识。1752 年，富兰克林做了一个很有名的风筝试验，证明雷电是一种静电现象。现在人们研究雷电和引雷入地控制雷害的方法，基本上还是富兰克林的风筝方法，只是用火箭代替了风筝。经过长期的研究，人们已经对雷电电流幅值和波形有了较清晰的认识。

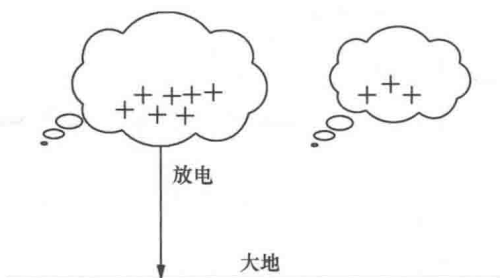


图 1.1 云地放电示意图

雷云就是带了大量电荷的云层。通常认为，在含有饱和水蒸气的大气中，强烈上升的气流会使空气中的水滴带电，而这些带电水滴又被气流带动在云的某部分集中起来，形成雷云。云中带电情况可以测量到。

雷云和地面之间如同一个大的平板电容器，电荷被堆积在离地 500～9000m 的雷云中。一次放电，弱雷约 1C，强雷可达 20C。一般情况下，可取 5C 为平均值。

实测表明，云地放电的极性大约 90%是负极性。雷云对地电压可达到 1000 万到 1 亿伏特。根据电容器的能量公式 $E=0.5QV^2$ ，可以看出，雷电的能量并不大。因此，利用雷电作为新能源的设想是不现实的。

当雷云中局部场强大于空气击穿场强 25～30kV/cm 时，便可能发展成闪电，闪电是一种空气击穿现象。雷云放电是多次放电形成的。

雷电可以是雷云对地放电，也可以是雷云之间放电。对我们危害较大的是雷云对地放电。平时，我们看到的闪电是空气放电发出的光，听到的雷鸣则是放电电流通过时使周围空气压力骤然增大而产生的。

应该指出的是，雷电流往往是持续的多个电流脉冲，第一个电流脉冲出现后，后面出现几个间断的电流脉冲，持续时间达几个毫秒。美国军用标准已对飞机的雷击试验提出了多次脉冲电流的测试方法。

雷电流的波形和电流幅值都是随机的，每次都不一样，其规律还有待研究。

时至今日，人们对于雷电规律的认识还很肤浅，还需要进行大量深入细致的研究，需要大量的雷电流测试数据。现在，国内外对雷电流的测试主要有两种方法：第一种是主动引雷测试；第二种是现场测试，即等待雷击时测试。两种方法各有优缺点，第一种方法可以较主动地进行测试，但其引雷情况与真实雷击有差距，而且，地点、雷云情况的代表性也是有限的。第二种方法的雷击是真实雷击，但雷击是随机事件，1年、2年甚至6年时间都不够长，工作量很大。另外，两种方法的地点和时间要足够多才有意义。

图 1.2 所示是主动引雷测试原理图，当观测到雷云形成后，在地面发射带细导线的火箭，引雷电流沿导线路径流入大地，导线的地面端连接一个分流器，通过它就可测试这一雷电流。目前，这项工作主要由一些大气物理研究单位和气象部门在做，已经取得了一些数据，但其代表性还是不够。

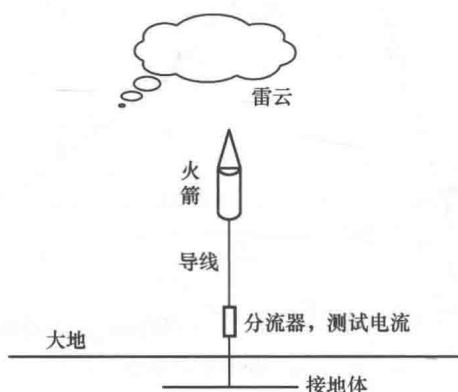


图 1.2 主动引雷测试原理图

现场测试的方法，是指在一些地点测试直击雷电流，或者测试在线路、设备上产生的雷电流或雷电压。我国电力和电信防雷工作者在这方面做了大量的工作，也取得了很多数据，当然还需继续测试研究。

1.2 雷电的传播

首先，雷电是电磁现象，它的传播服从电磁波传播规律。雷电在导线中是以波的形式传播的，在空气中则以电磁波的形式传播。雷电在空气中的传

播速度为光速，在导线中的传播速度与导线的材料有关 [在架空铜（或铝）导线上为光速，在同轴电缆上速度受绝缘介质影响]。

1.3 雷电参数

为了便于理解，先介绍几个雷电参数和术语。

过电压：超过正常工作电压的干扰电压。

过电流：超过正常工作电流的干扰电流。

电流波形参数：电流幅值、波头时间（视在波头时间）和波尾时间（视在半峰值时间）的定义如图 1.3 所示。

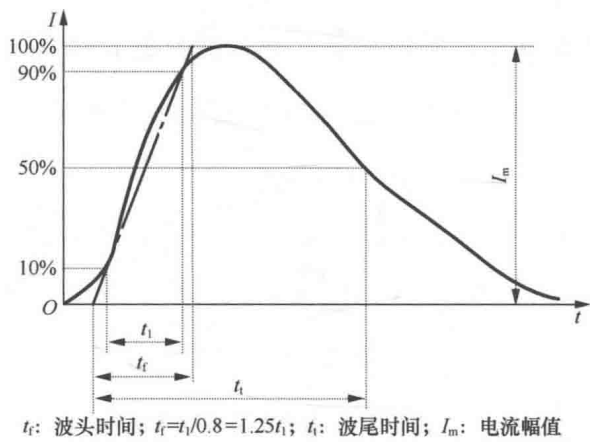


图 1.3 电流波形参数

电压波形参数：电压幅值、波头时间（视在波头时间）和波尾时间（视在半峰值时间）的定义如图 1.4 所示。

1.4 雷电日

雷电日是指 1km^2 内，1 年中听到雷声的天数。由全国雷电日分布图和全国主要市县年平均雷暴日数统计表，可查找到各地的雷电日，如表 1.1 所示。

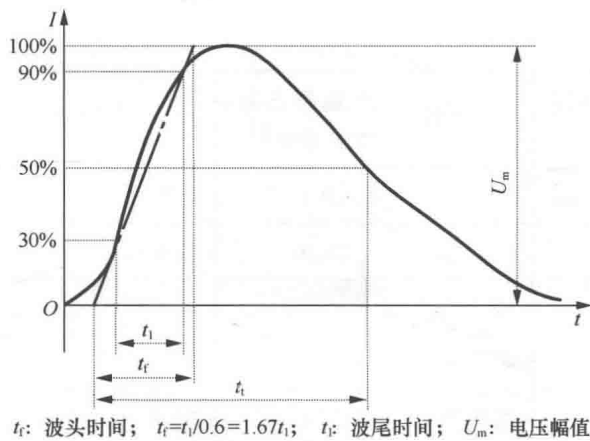


图 1.4 电压波形参数

表 1.1 全国主要市县年平均雷暴日数统计表

地区	雷暴日数 (d/a)	地区	雷暴日数 (d/a)	地区	雷暴日数 (d/a)
1. 北京市	36.3	7. 内蒙古自治区		图们市	23.8
2. 天津市	29.3	呼和浩特市	36.1	10. 黑龙江省	
3. 上海市	28.4	包头市	34.7	哈尔滨市	27.7
4. 重庆市	36.0	海拉尔市	30.1	大庆市	31.9
5. 河北省		赤峰市	32.4	伊春市	35.4
石家庄市	31.2	8. 辽宁省		齐齐哈尔市	27.7
保定市	30.7	沈阳市	26.9	佳木斯市	32.2
邢台市	30.2	大连市	19.2	11. 江苏省	
唐山市	32.7	鞍山市	26.9	南京市	32.6
秦皇岛市	34.7	本溪市	33.7	常州市	35.7
6. 山西省		锦州市	28.8	苏州市	28.1
太原市	34.5	9. 吉林省		南通市	35.6
大同市	42.3	长春市	35.2	徐州市	29.4
阳泉市	40.0	吉林市	40.5	连云港市	29.6
长治市	33.7	四平市	33.7	12. 浙江省	
临汾市	31.1	通化市	36.7	杭州市	37.6

续表

地名	雷暴日数 (d/a)	地名	雷暴日数 (d/a)	地名	雷暴日 数 (d/a)
宁波市	40.0	济宁市	29.1	珠海市	64.2
温州市	51.0	潍坊市	28.4	韶关市	77.9
丽水市	60.5	17. 河南省		21. 广西壮族自治区	
衢州市	57.6	郑州市	21.4	南宁市	84.6
13. 安徽省		洛阳市	24.8	柳州市	67.3
合肥市	30.1	三门峡市	24.3	桂林市	78.2
蚌埠市	31.4	信阳市	28.8	梧州市	93.5
安庆市	44.3	安阳市	28.6	北海市	83.1
芜湖市	34.6	18. 湖北省		22. 四川省	
阜阳市	31.9	武汉市	34.2	成都市	34.0
14. 福建省		宜昌市	44.6	自贡市	37.6
福州市	53.0	十堰市	18.8	攀枝花市	66.3
厦门市	47.4	恩施市	49.7	西昌市	73.2
漳州市	60.5	黄石市	50.4	绵阳市	34.9
三明市	67.5	19. 湖南省		内江市	40.6
龙岩市	74.1	长沙市	46.6	达州市	37.1
15. 江西省		衡阳市	55.1	乐山市	42.9
南昌市	56.4	大庸市	48.3	康定市	52.1
九江市	45.7	邵阳市	57.0	23. 贵州省	
赣州市	67.2	郴州市	61.5	贵阳市	49.4
上饶市	65.0	20. 广东省		遵义市	53.3
新余市	59.4	广州市	76.1	凯里市	59.4
16. 山东省		深圳市	73.9	六盘水市	68.0
济南市	25.4	湛江市	94.6	兴义市	77.4
青岛市	20.8	茂名市	94.4	24. 云南省	
烟台市	23.2	汕头市	52.6	昆明市	63.4