



通信电源设备 使用维护手册

通信系统
防雷接地技术

赖世能 慕家晓 编著

TM862/4

2008

通信电源设备 使用维护手册

通信系统
防雷接地技术

赖世能 慕家骅 编著

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

通信系统防雷接地技术/赖世能, 慕家骁编著. —北京:
人民邮电出版社, 2008.6
(通信电源设备使用维护手册)
ISBN 978-7-115-17242-6

I. 通… II. ①赖…②慕… III. ①通信系统—防雷—技
术②通信系统—接地保护装置 IV. TM862

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 184109 号

内 容 提 要

本书是“通信电源设备使用维护手册”丛书之一, 全面介绍了通信信息系统防雷接地应用技术。全书共分为 10 章: 前 3 章介绍防雷接地和通信网络基本理论, 包括雷电基本概论、通信供电系统及雷电影响通信设备基本规律等; 第 4~8 章介绍防雷接地具体技术的应用方法, 包括地网、通信局(站)防雷、防雷工程设计与施工、防雷元器件、避雷器等; 第 9 章主要介绍防雷接地维护管理方法; 第 10 章介绍防雷接地灾害事故的应急处理, 探讨防雷接地技术发展中一些亟待解决的难题。

本书大量采用了在实际中提炼出来的具有良好实施效果的应用技术、经验及方法, 避免了某些深奥的论述和烦琐的理论计算。本书语言简洁, 内容通俗实用, 理论联系实际, 可操作性强, 是从事防雷工程的设计、施工和维护技术人员必备的工具书, 也可作为通信院校有关专业的课本或教学参考用书。

通信电源设备使用维护手册 通信系统防雷接地技术

- ◆ 编 著 赖世能 慕家骁
责任编辑 王建军
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京艺辉印刷有限公司印刷
新华书店总店北京发行所经销
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 15.5
字数: 251 千字 2008 年 6 月第 1 版
印数: 1-4 000 册 2008 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-17242-6/TN

定价: 35.00 元

读者服务热线: (010)67119329 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154



丛书前言

在我国改革开放以来近 30 年的时间里，通信业得到了超常规快速发展，网络规模和容量已是世界之最。通信网络规模越大，越要注意网络安全。把网络管理好、维护好，是当前各电信运营商的主要工作之一。通信电源是通信网重要的子系统，是实现通信网络畅通的基础和保障。

当前，我国通信电源的标准规范已基本齐全，技术装备已经多次升级，创新技术含量大为提升，供电系统灵活多样，供电方式大大提高了可靠性，运行维护方式也发生了革命性的变革，实现了动力机房的集中监控、集中维护、集中管理和无人值守。

可靠性和节能是通信电源永恒的主题，而可靠性永远是第一位的。保障安全、优质、不间断供电是通信电源工作者的天职。随着通信技术的日新月异，通信网络规模的不断扩大，数据通信、IDC 机房的供电和空调成为通信电源建设和维护管理的重点。在此情况下，加强通信电源团队的学习和培训显得更为迫切和重要。为了有利于从事通信电源技术维护和管理人员的学习提高，特组织编写了这套通信电源设备使用维护手册。丛书共 10 个分册：

第一分册 通信用交流变配电系统

第二分册 通信用柴油发电机组

第三分册 通信用直流系统

第四分册 通信用蓄电池

第五分册 通信用 UPS 及逆变器

第六分册 通信机房用空调设备

第七分册 通信系统防雷接地技术

AFWS 87/07



丛书前言

第八分册 通信电源和环境的集中监控管理

第九分册 通信用光伏与风力发电系统

第十分册 通信电源的新型技术及产品

这套维护手册有三大特点，一是由一批具有丰富电源技术维护和管理经验的同志编写而成的，是大家运行维护和管理经验的结晶；二是紧密结合运行维护和管理工作中曾经出现的故障案例，进行了深入的分析，是付出沉重代价后而不可多得的经验教训的总结；三是既注重知识的系统性、完全性，更注重实用性和可读性，是动力维护规程的诠释。

这套维护手册的出版发行，对提高通信电源技术维护和管理总体水平，必将起到积极的作用。

编者

2008年1月



前 言

通信信息系统是社会经济生活中不可缺少的基本要素，现代信息技术发展十分迅速，各地通信运营公司建造了大量重要的通信局（站），通信规模越来越大。随着信息技术和互联网技术的发展，除了电信运营网络中有大量通信局（站）外，其他各行各业也采用现代信息通信技术来提高生产效率，建造了大量专用通信网络。现代通信信息设备在使用过程中极易遭到雷电的袭击而损坏，雷害已经成为阻碍信息技术广泛应用的一个非常不利的因素，但由于人们对通信信息设备防雷问题的认识还不足，经常处于无从下手或者多次治理不见改善的尴尬地步。尤其是电信运营公司的通信局（站），对防雷接地的要求很高，但无论是局站和网络建设工作中还是运行维护工作中，都很缺乏防雷接地专业技术指导书籍，给维护工作带来了很大的困难。

通信信息系统由于设备种类多、组网方式变化大，因此想要一剂灵丹妙药包治百病是不现实的，必须有针对性地根据对象的特点，在充分调查、分析、研究和认真思考的基础上，才能提出比较合理的解决方案。笔者多年从事通信系统防雷工作，得出了一个基本的认识，这就是：要做好防雷工作，必须从雷电进入通信系统之前抓起。首先是从外围做好切断雷电入侵机房内设备的渠道或减弱处理的工作，否则，巨大的雷电流一旦直接进到了机房内，再靠一些避雷器、防浪涌装置来承担防止雷击的全部压力，其实际效果就可能很差。外围的防雷措施是一项很基础、很不起眼的工作，所以一般很难引起大家的重视。建筑工程的土建、管线安装、设备安装以及走线架的安装都是外围防雷的重点把关之处，而这些工程往往都不是由防雷专业技术人员直接去考虑和实施，在实际施工过程中往往没有考虑防雷接地的合理要求，等通信系统开通运行后再来考虑防雷改造那就为时已晚了，很多漏洞都已经难以治理、纠正了。

通信系统防雷接地的最根本目的是提高通信系统的抗雷击能力、保证通信



前 言

正常运行。但必须认识到：一些防雷措施是一把“双刃剑”。比如电源避雷器，既可以保护电源设备免遭雷击，也可能因避雷器失效自毁引起火灾；又比如信号避雷器，既可以保护网络设备免遭雷击，也可能因它串接在线路中导致通信效率下降甚至中断。从电信网络运营商的要求来说，任何防雷接地措施的实施都必须不妨碍通信网络的正常运行，在此前提下考虑可行的防雷接地方案才是正确的工作思路。

本书第8章由慕家骁高级工程师编写，其他章节由赖世能编写。

本书结合了大量防雷工程实例的经验教训和实际产品的应用分析，重点介绍了防雷接地的应用技术和应用标准，因此比较适合防雷工程技术人员参考借鉴。

由于笔者理论水平有限，书中可能存在疏漏和不足，恳请读者批评指正。

作者

2007年12月



通信电源设备使用维护手册

编 委 会

主 任：王晓丹

副主任：董晓庄 戴 忠 张清贵 崔荣春 李国光
王英栋 熊兰英 李长海

委 员：（按姓氏笔画为序）

丁 涛	王 平	王建军	牛志远	方 力
朱 挺	孙 研	李 峙	李克民	严 峰
杨世忠	吴京文	余 斌	张秀芳	陈忠民
易东山	侯福平	高 健	殷 琪	魏 巍

目 录

第 1 章 雷电的基本概论	1
1.1 雷电起源	2
1.1.1 云雾粒子的荷电机理	2
1.1.2 降水粒子的荷电机理	4
1.1.3 积雨云的起电机理	5
1.2 闪电	10
1.2.1 闪电的类型	10
1.2.2 地闪的各种特征参数	11
1.3 年雷暴日分布	16
1.3.1 雷暴日定义	16
1.3.2 我国年雷暴日分布规律	17
1.4 雷电波形	17
1.4.1 雷电标准波形	17
1.4.2 雷电参数的确定方法	19
1.4.3 各种雷电或雷电模拟波形	21
第 2 章 通信局(站)供电系统的接地方式	22
2.1 通信局(站)供电系统基本介绍	24
2.2 电力系统接零接地方式	26
2.2.1 标准的 TN-S 电力接地方式	27
2.2.2 标准的 TN-C-S 电力接地方式	27
2.2.3 标准的 TN-C 电力接地方式	28
2.2.4 标准的 TT 电力接地方式	28
2.2.5 标准的 IT 电力接入方式	28
2.2.6 通信局(站)内 TN-S 接地方式的变形之一: 地线重复接地	30
2.2.7 通信局(站)内 TN-S 接地方式的变形之二: 零地线重复接地	32
2.2.8 通信局(站)内 TN-C-S 接地方式的变形: 零地线重复接地	33
2.2.9 通信局(站)内 TT 接地方式的变形: 零地线重复接地	35
2.3 通信局(站)零线的线径问题	36



第3章 雷电影响通信设备的基本规律	37
3.1 雷电对通信设备造成损害的基本方式	38
3.2 雷击对通信设备影响规律	39
3.2.1 通信局(站)雷电入侵的各种端口	39
3.2.2 局外通信线路和电源线路上的雷电	41
3.2.3 通信局(站)建筑物遭受直击雷	48
3.2.4 局外空间的雷电磁脉冲在局内通信网络上产生的感应电压	51
3.2.5 易遭雷击损坏的通信设备和接口电路	51
第4章 通信信息系统地网的要求	53
4.1 通信局(站)地网的基本要求	54
4.1.1 接地基本原理	54
4.1.2 地网有效面积要求	58
4.1.3 接地体网格大小要求	60
4.1.4 辅助地网距大电流入地点最大距离要求	61
4.2 局(站)地网接地电阻值要求	62
4.3 联合接地的适用原则	64
4.4 几种改进地网的措施	66
4.4.1 采用稀土(粉末)降阻剂	66
4.4.2 采用液态(凝胶)降阻剂	69
4.4.3 采用石墨降阻剂	70
4.4.4 采用电解离子接地棒	71
4.5 各种复杂地形地网处理方法	72
4.5.1 高山地网的处理方法	72
4.5.2 密集城区大地网处理方法	74
4.5.3 密集城区特小型地网处理方法	76
4.6 地网阻值计算方法	77
第5章 通信局(站)建筑物防雷	85
5.1 通信大楼直击雷的危害	86
5.1.1 通信大楼基本特点	86
5.1.2 通信大楼直击雷灾害原因分析	86
5.2 我国现行通信大楼防直击雷的处理方法及存在问题	87
5.2.1 楼顶部分	87

5.2.2	建筑体部分	88
5.2.3	地下部分	90
5.3	通信大楼防直击雷方法	90
5.3.1	屏蔽	90
5.3.2	绝缘	91
5.3.3	独立式避雷针系统	91
5.3.4	均压等电位处理	92
5.4	设备地线系统	92
5.4.1	设备连接结构和接地方式的不同种类	92
5.4.2	内部星状隔离连接网连接结构与接地方式的原理	95
5.4.3	内部网状隔离连接网连接结构与接地方式的原理分析	99
5.4.4	通信设备接地安装要求	100
5.5	楼顶小型设备防直击雷	101
5.6	无线通信基站地线系统的设置	102
第 6 章	防雷元器件	103
6.1	压敏电阻	104
6.1.1	氧化锌压敏电阻工作原理	104
6.1.2	氧化锌压敏电阻的主要技术参数	105
6.1.3	压敏电阻的优缺点	109
6.2	气体放电间隙	110
6.2.1	气体放电间隙工作机理	110
6.2.2	气体放电间隙主要技术参数	111
6.2.3	气体放电间隙的优缺点	114
6.3	导通型半导体避雷器件	115
6.3.1	工作原理	115
6.3.2	应用场合	116
6.4	稳压型半导体器件	117
6.4.1	基本原理	117
6.4.2	应用方法	118
6.5	隔离变压器	118
6.5.1	基本原理	118
6.5.2	应用方法	119
6.6	光电耦合隔离器	119
6.6.1	基本原理	119



6.6.2 光电耦合隔离器的应用	120
第7章 避雷器	121
7.1 电源避雷器	122
7.1.1 电源避雷器保护模式介绍	122
7.1.2 电源避雷器保护模块内部结构	128
7.1.3 电源避雷器组合结构	136
7.2 数据避雷器	144
7.2.1 数据避雷器的保护模式	144
7.2.2 数据避雷器保护元件的内部结构	145
7.2.3 数据避雷器组合结构	146
7.2.4 数据避雷器产品分类	147
7.3 电源避雷器相关标准要求比较	154
7.4 数据避雷器相关标准要求比较	156
第8章 通信局(站)防雷工程设计与施工	159
8.1 通信机房雷害情况调查	160
8.1.1 当地雷暴日数分布及雷电活动规律	160
8.1.2 雷电对该地区及机房的危害情况的调查	160
8.1.3 对改、扩建通信局(站)相关情况的调查	161
8.2 雷害可能入侵的途径调研	162
8.3 防雷措施的设计应用	164
8.3.1 通信局(站)建筑物及设备防雷接地措施应用原则	165
8.3.2 综合通信大楼防雷接地	167
8.3.3 避雷针的应用	168
8.3.4 建筑物年预计雷击次数的计算	171
8.3.5 通信机房围环形接地汇集线连接系统	172
8.3.6 通信机房内各种设备接地系统的连接	172
8.3.7 低压线路入户的防护措施	179
8.3.8 供电方式与浪涌保护器的安装	181
8.4 各类通信局(站)防雷工程设计模板	187
8.4.1 各类通信局(站)的防雷接地实施方案和内容	187
8.4.2 各类通信局(站)防雷工程实施方案	188
8.4.3 各类通信局(站)防雷工程设计材料设备配置表	192
8.5 参考调查表	197



第 9 章 防雷接地系统的检查维护	201
9.1 通信局（站）防雷接地工程施工检查方法	202
9.1.1 地网施工检查方法	202
9.1.2 防直击雷装置施工检查方法	203
9.1.3 室内地线系统施工检查方法	204
9.1.4 设备安装接地与绝缘检查方法	205
9.1.5 避雷器安装施工检查方法	205
9.2 防雷工程竣工验收检查方法	206
9.2.1 验收项目	206
9.2.2 竣工验收报告和文档	207
9.3 通信局（站）防雷接地系统维护检查方法（参考维护规程）	208
9.3.1 通信局（站）防雷装置的维护	208
9.3.2 动力系统防雷设备的维护	210
9.4 测试方法	211
9.4.1 接地电阻测试方法	211
9.4.2 避雷器测试方法	220
第 10 章 防雷接地灾害事故应急措施及尚待解决的问题	226
10.1 防雷接地灾害事故应急处理	228
10.1.1 通信设备遭雷击严重损害的事故处理	228
10.1.2 电源避雷器失效自毁的事故处理	229
10.1.3 数据避雷器损坏事故处理	230
10.1.4 局（站）地网地线断裂事故处理	230
10.1.5 未采取防雷接地措施的通信设备突遭雷击损坏的处理	231
10.2 通信防雷工作中尚待解决的问题	231
10.2.1 尚待解决的问题	231
10.2.2 通信技术发展产生的新问题	232
10.2.3 用户侧通信设备防雷保护新问题	233
10.2.4 公共技术安防系统的防雷保护新问题	233



第 1 章

雷电的基本概论

在我国绝大多数地方，雷电是降水过程（包括降雨和降雪）中的一种伴随现象。在积雨云团下部存在一个荷电中心，当荷电中心附近局部地区的大气电场达到 $10\ 000\text{V/cm}$ 时，云雾大气便会击穿而形成流光。闪电是积雨云中不同极性荷电中心之间、云中荷电中心与大地（地物）之间或者云中荷电中心与云外大气中荷电中心之间的放电过程。地闪会有大电流打击大地或地面上物体，对人类影响极大，会造成人员、财物的大量损失。地闪一直是雷电专家研究的重点对象，也是目前闪电机理研究得比较清楚的闪电类型。



1.1 雷电起源

1.1.1 云雾粒子的荷电机理

在我国绝大多数地方，雷电是降水过程（包括降雨和降雪）中的一种伴随现象，正所谓“电闪雷鸣、风雨交加”。但在少数地方也有其他异常天气过程会产生雷电现象。通过大量的云中电场探测，发现在云团的产生和发展阶段，也一直是云中电荷、云中电场产生和发展阶段。闪电是云中电场发展到一定阶段所产生的云中、云地之间的电荷放电的表现。要研究雷电必然会碰到一个根本性问题：云中电荷究竟是怎样产生的？坦率讲，这个谜团到今天为止还没有完全打开，云雾粒子的起电机理还一直是全世界大气物理学家探索研究的重要问题之一。

云雾粒子的起电机理，是指固态和液态云雾粒子携带正、负电荷的物理过程和原理。有关云雾粒子的起电机理虽进行了大量实验研究和理论分析，但有关云雾粒子起电机理的理论有很多种，目前各种起电机理的理论都有漏洞，不能很完善地解释云雾粒子荷电的实际观测结果，因此，云雾粒子的起电机理仍有待进一步深入研究。这里仅介绍目前比较流行的大气离子扩散起电机理、选择性吸附大气离子起电机理、感应起电机理等3种云雾起电机理理论。

1. 大气离子扩散起电机理

一般空气中平时就存在大量正离子、负离子，其中质量轻的正、负离子的尺度小、重量轻，具有较大的离子迁移率，成为大气离子由高浓度向低浓度扩散的主体。对于单个大气粒子而言，其表层的正、负轻离子浓度为零，而离云雾粒子稍远处的正、负轻离子浓度，则具有云雾大气中正、负轻离子的平均浓度值。因此，在离云雾粒子很近的空气中，正、负轻离子浓度具有径向分布，从而形成正、负轻离子向云雾粒子靠拢、附着的物理过程，从而使云雾粒子荷电。正、负轻离子向云雾扩散的物理过程为随机过程，故形成具有正态分布的云雾粒子电荷谱分布。云雾粒子因正、负轻离子靠拢、附着而荷电的过程，称为大气离子扩散起电机理。

实验和理论计算表明，云雾粒子的运动速度、粒子的尺度及正、负轻离子的浓度对这个大气离子扩散起电机理的科学性有重大影响。实验和理论计算表明，云雾粒子相对于周围空气的运动速度愈大，大气离子扩散起电机理的偏差也愈大；云雾粒子的半径愈大，起电机理偏离程度也愈大（计算值一般小于实



测值)。因此,一般说来,这种云雾粒子大气离子扩散起电机理比较适合于云雾处于初始形成阶段的云雾粒子荷电过程,因为此时云雾粒子运动速度较慢,粒子半径也小。

2. 选择性吸附大气离子起电机理

大量实验和观测表明,液态云雾粒子常携带较多负电荷,这可能与液态云雾粒子易选择吸附大气轻负离子的起电机理有关。因为水分子为极性分子,在液态云雾粒子的表面会形成极薄的电偶极层,其厚度与水分子尺寸相当。液态云雾粒子表面所形成电偶极层的外侧呈负极性,内侧呈正极性,从而在电偶极层中形成方向朝外的径向电场,并在液态云雾粒子表面电偶极层的内、外侧之间形成电位差。

若大气中正、负轻离子携带电荷,则大气中正轻离子必须克服液态云雾粒子表面电偶极层的库仑力所做功后,才能进入云雾滴中,这显然是个困难的过程;而大气负轻离子通过云雾粒子表面的电偶极层而进入云雾粒子中时,反而能获得电能,更加有利于负离子进入粒子中。由此可见,液态云雾粒子具有选择性吸附大气负轻离子的特性。因此,液态云雾粒子吸附大气负轻离子的概率大于吸附大气正轻离子的概率,从而使液态云雾粒子携带负电荷。液态云雾粒子选择性吸附大气负轻离子的过程,称为选择性吸附大气离子起电机理。

实验和理论计算分析表明,液态云雾粒子吸附大气轻离子形成的电荷正比于液态云雾粒子的半径,云雾粒子的半径愈大,所带电荷值也愈大,反之亦然。但实验和理论还表明,当云雾粒子半径较小时,根据选择性吸附大气轻离子起电机理理论所计算的云雾粒子携带的电荷绝对值,一般大于实测的平均绝对值;当云雾粒子半径较大时,计算值则又小于实测平均绝对值。考虑到大气离子扩散起电机理和选择性吸附大气离子起电机理两种模式,均使云雾粒子所形成的电荷正比于云雾粒子的半径,于是,综合两者的作用,可保证在粒子半径小于 $10\mu\text{m}$ 内,所计算得到的结果与实测结果具有较好的一致性。由此可见,大气离子扩散起电机理和选择性吸附大气离子起电机理,可能是云雾离子的主要起电机理。在云雾粒子初期,以大气离子扩散起电机理为主,在中后期则以选择性吸附大气离子起电机理为主。

3. 感应起电机理

在云雾发展过程中,随着云雾粒子半径的继续增大,其重力影响便逐渐显



著起来。例如,在静止空气中,云雾粒子半径在 $10\mu\text{m}$ 时,降落速度仅为 1.2cm/s ; 而半径增大至 $20\mu\text{m}$ 时,降落速度增加至 4.7cm/s ; 半径再增大至 $40\mu\text{m}$ 时,降落速度则可达 17.5cm/s 了。一些半径较大的云雾粒子,在垂直向下的初始晴天大气电场中,因受到晴天大气电场的感应,演变成上半部荷负电、下半部荷正电的极化云雾粒子。极化的大云雾粒子在重力作用下的降落过程中,沿途不断选择性捕获大气负离子,从而使云雾粒子携带净负电荷。但若云雾大气中有局部区域形成垂直向上的大气电场时,其情况则相反,变成上部荷正电、下部荷负电的极化云雾粒子。极化云雾粒子在降落过程中,沿途不断选择性捕获大气正离子,从而使云雾粒子携带净正电荷。云雾粒子在降落过程中,因大气电场感应而选择性捕获大气离子的起电过程,称为感应起电机理。

实验和理论计算分析表明,因感应起电机理而形成的电荷,正比于云雾粒子半径的平方。由此可见,感应起电机理应是云雾粒子的主要起电机理之一。

综上所述,云雾粒子的主要起电机理,在云团的不同发展阶段以及云团的不同区域可能是不同的。大气离子扩散起电机理适用于液态和固态云雾粒子的起电过程,主要发生在云雾大气处于云雾粒子较小(半径小于 $1\mu\text{m}$)的初始阶段。选择性吸附大气离子起电机理适用于较大(半径在 $1\sim 10\mu\text{m}$)的液态云雾粒子的起电过程,可使云雾粒子形成较大的负电荷。感应起电机理适用于液态和固态云雾粒子的起电过程,但主要发生在云雾发展到一定程度,具有较大云雾粒子(半径大于 $10\mu\text{m}$)时的阶段。从实际测量知道,当云雾大气发展的中后期出现了局部区域形成较强的垂直大气电场时,感应起电机理才将对云雾粒子的荷电过程起关键作用。

1.1.2 降水粒子的荷电机理

云雾大气发展的结果很可能就会形成降水云团。降水粒子一般存在于雷雨、阵雨、连续性降雨等液态降水和雪暴、连续性降雪等固态降水过程中。从实验和理论研究得知,降水粒子的电荷量大小和极性,不仅取决于降水类型和强度,而且还与云内、云下的大气电状况有关联。实际上,降水粒子的荷电过程中,不仅包括前面所述的大气离子扩散起电机理、选择性吸附大气离子起电机理和感应起电机理,还存在温差起电机理、破碎起电机理、融化起电机理和冻结起电机理等。实际上,是各种因素的作用,导致各种降水粒子将形成不同极性、不同数量的电荷,而且,降水粒子从云底层降落,落向地面,通过充满大气正、