

供排水系统 防雷技术

吴春富 黄剑 杨悦新 编著



中国建筑工业出版社

供排水系统防雷技术

吴春富 黄 剑 杨悦新 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

供排水系统防雷技术/吴春富,黄剑,杨悦新编
著. —北京:中国建筑工业出版社, 2013. 11
ISBN 978-7-112-15957-4

I. ①供… II. ①吴… ②黄… ③杨… III. ①给
排水系统-防雷设施 IV. ①TU991

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 237342 号

防雷技术属于电子类学科的雷电防护专业,与气象学科关系密切。本书秉承行业细分模式,探讨水务行业内雷电防护的相关问题,力求内容全面、具体、有针对性和可操作性。为供排水系统的防雷设计、施工、工程验收提供技术参考,为供排水企业防雷设施的运行维护、安全管理,以及为防雷工程立项整改提供参考依据。

责任编辑:于莉 田启铭

责任设计:董建平

责任校对:姜小莲 党蕾

供排水系统防雷技术

吴春富 黄剑 杨悦新 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京科地亚盟排版公司制版

北京中科印刷有限公司印刷

*

开本:787×1092毫米 1/16 印张:14½ 字数:355千字

2014年2月第一版 2014年2月第一次印刷

定价:49.00元

ISBN 978-7-112-15957-4
(24720)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

雷电作为自然界中一种特殊的气象现象，危及人类生命安全及毁坏生存环境，是联合国公布的最严重的十种自然灾害之一。随着电子信息设备的普及，雷电危害的范围已从电力、建筑等传统领域扩展到几乎所有行业。因此，如何采取防护措施、减少雷电给人类带来的损害变得越来越重要。

供排水系统属于水务行业，承担着城市的供水生产及输配、污水收集处理及排放、防洪排涝等任务，其安全可靠运行涉及千家万户的日常生活以及整个城市的正常秩序。供排水系统包括净水厂、污水处理厂、原水泵站、排水泵站、供水加压泵站及输水管网等设施，这其中包含各类建（构）筑物及大量的电气、电子设备和各种线缆、管道，占地面积大，线路长而暴露，并通常处于空旷而潮湿的环境，具有雷击选择性特征，易发生雷击损害事故。同时，作为城市基础设施的供排水系统往往采用分期建设、分期运行模式，建设年代可能相隔数年甚至数十年，其工程设计及施工因标准的变更、建设年代久远等因素可能导致防雷及接地保护系统存在差异、混乱或者缺失。实际运行中也发现，供排水系统设备因雷击损坏停运的情况较为多发，雷击对供排水系统的正常运行及从业人员人身安全构成一定威胁。

防雷技术属于电子类学科的雷电防护专业，与气象学科关系密切。本书秉承行业细分模式，探讨水务行业内雷电防护的相关问题，力求内容全面、具体、有针对性和可操作性。为供排水系统的防雷设计、施工、工程验收提供技术参考，为供排水企业防雷设施的运行维护、安全管理，以及为防雷工程立项整改提供参考依据。

本书立足于现行国家防雷标准，以深圳市水务集团内部规范：《供排水系统防雷技术规范（暂行）》（Q/SZWG 0001—2010 主审 张金松）为基础资料编写。

第1章～第3章为基础知识和行业背景介绍，包括雷电防护基本知识、防雷保护装置和供排水行业概述。

第4章为供排水系统防雷设计，包括设计前期资料收集、设计文件组成、建筑物防雷和设备防雷。

第5章介绍了供排水系统设施防雷保护，包括供配电系统防雷保护、高压直配电机防雷保护、自动化系统防雷保护、自动化仪表防雷保护、消毒系统防雷保护。

第6章为供排水系统防雷工程实践相关内容，包括防雷工程预算、防雷工程招标投标、防雷工程施工、防雷工程验收、防雷装置维护管理、防雷工程实例。

第7章为防雷企业与防雷产品介绍，包括防雷企业的分类、雷电定位和预警监测设备、雷电防护产品的沿革与实例。

第8章介绍了防雷行政许可与技术服务内容，包括防雷法律法规体系层级、防雷行政

许可与技术服务的业务流程和要求。

附录为国内现行防雷法规，包括《防雷减灾管理办法》、《防雷装置设计审核和竣工验收规定》、《防雷工程专业资质管理办法》。

需要说明的是，本书从不同角度（如设计、施工）介绍供排水系统防雷技术，为保持阅读连续性，部分相同或相似图表均在相应章节示出。

限于时间和水平，疏漏和错误在所难免，敬请读者批评指正并提出宝贵意见。

编 者

2013 年 7 月

目 录

第 1 章 雷电防护基本知识	1
1.1 雷电成因	1
1.1.1 雷电	1
1.1.2 雷电的形成	1
1.2 雷电危害	2
1.2.1 雷电的分类	2
1.2.2 雷电的危害	4
1.2.3 电子信息时代雷电危害的特点	5
1.3 雷电特性	6
1.3.1 雷击及雷电流	6
1.3.2 闪电的电荷量	6
1.3.3 雷电过电压及分类	7
1.3.4 雷电波的频谱	8
1.4 雷电活动参数	9
1.4.1 雷电日	9
1.4.2 雷电小时	10
1.4.3 地面落雷密度	10
1.4.4 雷闪频数	10
1.5 雷击选择性	10
1.6 雷电防护的一般方法	12
1.6.1 防护基础	12
1.6.2 防护原理	15
1.7 防雷组织措施及标准规范	16
1.7.1 雷电防护的组织措施	16
1.7.2 防雷标准与规范	17
第 2 章 防雷保护装置	20
2.1 接闪器	20
2.1.1 避雷针	20
2.1.2 避雷线	27
2.1.3 避雷带与避雷网	28
2.2 引下线	29
2.2.1 引下线的一般规定	29

2.2.2 注意问题	30
2.3 接地装置	30
2.3.1 接地装置一般规定	31
2.3.2 注意问题	32
2.4 防雷保护装置所用的材料	32
2.5 避雷器	34
2.5.1 避雷器保护原理	34
2.5.2 避雷器的性能要求	34
2.5.3 常用避雷器	35
2.6 电涌保护器 (SPD)	42
2.6.1 电涌保护器特性及分类	42
2.6.2 对电涌保护器件性能的基本要求	43
第3章 供排水系统概述	45
3.1 供水系统	45
3.1.1 供水系统的分类	45
3.1.2 供水系统的组成	45
3.1.3 供水系统的布置	46
3.1.4 供水管网	46
3.2 排水系统	47
3.2.1 排水的分类	47
3.2.2 排水系统的组成	48
3.2.3 排水的体制	49
3.2.4 排水管网	50
3.3 工艺处理单元	51
3.3.1 取水泵站	51
3.3.2 净水厂	51
3.3.3 排水泵站	52
3.3.4 污水处理厂	53
3.4 电气及电子设备	54
3.4.1 供配电系统	54
3.4.2 自动化系统	58
3.4.3 自动化仪表	63
3.5 供排水系统防雷必要性和雷击风险分析	65
3.5.1 供排水系统防雷必要性	65
3.5.2 供排水系统雷击风险分析	65
第4章 供排水系统防雷设计	67
4.1 设计前期资料收集	67

6 目 录

4.1.1	新建项目防雷设计需要收集的资料	67
4.1.2	改、扩建项目防雷设计需要收集的资料	67
4.2	防雷设计文件组成	68
4.2.1	设计概述	68
4.2.2	设计依据	68
4.2.3	防雷设计总说明	69
4.2.4	分项防雷设计方案	69
4.2.5	图纸资料	69
4.2.6	防雷工程预算	70
4.3	供排水系统建筑物防雷	70
4.3.1	建筑物的防雷分类	70
4.3.2	供排水系统建筑物防雷类别划分	71
4.3.3	第二类防雷建筑物防雷	73
4.3.4	第三类防雷建筑物防雷	76
4.3.5	其他防雷措施及问题	78
4.3.6	民用建筑物防雷措施	79
4.4	供排水系统设备防雷	81
4.4.1	雷电防护分区	81
4.4.2	雷电防护等级	81
4.4.3	防雷设计	83
4.4.4	雷电电磁脉冲 LEMP 防护措施系统 (LPMS) 设计	99
第 5 章	供排水系统设施防雷保护	103
5.1	供配电系统防雷保护	103
5.1.1	变配电所及高压配电系统防雷保护措施	104
5.1.2	电力变压器防雷保护措施	105
5.1.3	低压配电系统防雷保护措施	107
5.2	高压直配电机防雷保护	109
5.2.1	高压电机及雷击风险	109
5.2.2	高压电机防雷保护措施	109
5.2.3	不同容量的高压电机保护接线	110
5.2.4	高压电机保护原理	111
5.3	自动化系统防雷保护	111
5.3.1	自动化系统综合防雷保护措施	112
5.3.2	自动化系统机房防雷保护措施	117
5.3.3	安防监控系统防雷保护措施	120
5.4	自动化仪表防雷保护	121
5.4.1	压力、温度仪表	121
5.4.2	物位仪表	122

5.4.3	流量仪表	122
5.4.4	水质分析仪表	123
5.5	消毒系统防雷保护	123
5.5.1	加氯系统	124
5.5.2	加氨系统	126
5.5.3	臭氧系统	127
5.5.4	紫外线消毒系统	129
第 6 章	供排水系统防雷工程实践	131
6.1	防雷工程预算	131
6.1.1	防雷工程费用组成	131
6.1.2	直接费的计算方法	132
6.2	防雷工程招标投标	133
6.2.1	招标	133
6.2.2	投标	134
6.2.3	招标投标的程序	135
6.3	防雷工程施工	136
6.3.1	防雷装置质量要求	136
6.3.2	接地装置分项工程	139
6.3.3	引下线分项工程	141
6.3.4	接闪器分项工程	143
6.3.5	等电位连接分项工程	145
6.3.6	屏蔽分项工程	147
6.3.7	综合布线分项工程	147
6.3.8	电涌保护器分项工程	148
6.4	防雷工程验收	151
6.4.1	接地装置分项工程	151
6.4.2	引下线分项工程	151
6.4.3	接闪器分项工程	152
6.4.4	等电位连接分项工程	152
6.4.5	屏蔽分项工程	153
6.4.6	综合布线分项工程	153
6.4.7	电涌保护器分项工程	153
6.4.8	防雷工程验收资料	154
6.5	防雷装置维护管理	155
6.5.1	管理架构及职责	155
6.5.2	防雷装置维护	155
6.5.3	雷害分析与申报	156
6.6	防雷工程实例	156

8 目 录

6.6.1	取水泵站	157
6.6.2	综合楼	159
第 7 章	防雷企业与防雷产品	164
7.1	防雷企业	164
7.1.1	防雷工程设计与施工企业	164
7.1.2	SPD 研发生产企业	167
7.1.3	雷电定位和预警产品生产企业	168
7.1.4	防雷行业面临的问题	168
7.2	雷电定位和预警监测设备	169
7.2.1	雷电监测概述	169
7.2.2	雷电监测设备	170
7.3	雷电防护产品	171
7.3.1	电涌保护器产品沿革	171
7.3.2	电涌保护器产品实例	173
第 8 章	防雷行政许可与技术服务	184
8.1	防雷法律法规体系层级	184
8.1.1	《气象法》	184
8.1.2	国务院 412 号令	184
8.1.3	《气象灾害防御条例》	185
8.1.4	《防雷减灾管理办法》	185
8.1.5	《防雷装置设计审核和竣工验收规定》	186
8.1.6	《防雷工程专业资质管理办法》	186
8.2	防雷行政许可	186
8.2.1	防雷资质认定	186
8.2.2	防雷装置设计审核	187
8.2.3	防雷装置竣工验收	188
8.3	防雷技术服务	188
8.3.1	雷击风险评估	188
8.3.2	雷电灾害调查鉴定	189
8.3.3	防雷装置设计技术评价	190
8.3.4	防雷装置检测	200
附录 A	《防雷减灾管理办法》	208
附录 B	《防雷装置设计审核和竣工验收规定》	212
附录 C	《防雷工程专业资质管理办法》	217
参考文献		222

第 1 章 雷电防护基本知识

1.1 雷电成因

1.1.1 雷电

雷电是自然界中一种特殊的气象现象，发生时产生强烈的声、光、电，其能量足以威胁到人畜的生命安全，给人们的生产、生活设施造成损害。但是，雷电并非一无是处，雷电造成的合成有机化合物，可能在地球生命起源中起到一定作用，雷电产生的臭氧对自然界细菌生成有一定抑制作用，雷电还可能在某种程度上杀死生物害虫，有利于植物和庄稼的生长。人们通过在密室中模拟地球原始大气进行放电实验，结果由无机物合成了 11 种氨基酸，这些物质，正是构成生命的基础。因此，一些生命起源学说认为：是雷电孕育了地球上的生命，正是因为有了雷电，才有了今天地球上的文明。可以说，雷电与人类有着非常密切的关系。

雷电具有巨大的瞬时功率，一个中等强度的雷暴功率可达数万千瓦，相当于一座小型核电站的输出功率。雷击放电时释放出大量热能，瞬间能使空气温度升高 1 万~2 万摄氏度，空气的压强可达 70 个大气压。雷击放电时的电流高达数十万安培，电压高达数百万伏特。雷击放电时间极短，一般约 50~100 微秒。这样大的能量瞬时爆发，使闪电通道中温度骤增，使空气急剧膨胀，从而产生冲击波。瞬间爆发时产生极强的破坏力，导致发生火灾、爆炸和人畜伤害事故，同时产生的强磁场也会使周围的物体遭到侵害。雷电现象见图 1-1。



图 1-1 雷电现象

1.1.2 雷电的形成

雷电一般产生于积雨云，积雨云在形成过程中，某些云团带正电荷，某些云团带负电荷。由于它们对大地的静电感应作用，使地面或建（构）筑物表面产生异性电荷，当电荷积聚到一定程度时，不同电荷云团之间或云与大地之间的电场强度可以击穿空气，开始游离放电，我们称之为“先导放电”。云对地的先导放电是云向地面跳跃式逐渐发展的，当到达地面时（地面上的建筑物，架空输电线等），便会产生由地面向云团的逆导主放电，称之为“迎面先导”。在主放电阶段里，由于异性电荷的剧烈中和，会出现很大的雷电流，

并随之发生强烈的闪电和巨响，这就是雷电。但是即使科技发展到了今天，关于雷电仍然有许多现象无法解释，人类仍然未能完全了解雷电的成因和机理。

雷击放电有的是在云层与云层之间进行，有的是在云层与大地之间进行。按照闪电通道是否触及地面，把闪电分为云闪和云地闪两类。按照发生的空间位置的不同，云闪又可分为云内闪电、云际闪电和云空闪电，云闪占闪电总数的绝大部分。云地闪放电也就是落地雷，它对建筑物、电气及信息设备、人畜有很大的危害。在一些文献和本书中，用来描述云闪或者云地闪的几个术语“雷电”、“闪电”、“雷击放电”等，可以互换使用。

雷电放电过程示意，见图 1-2，雷电放电种类见图 1-3。

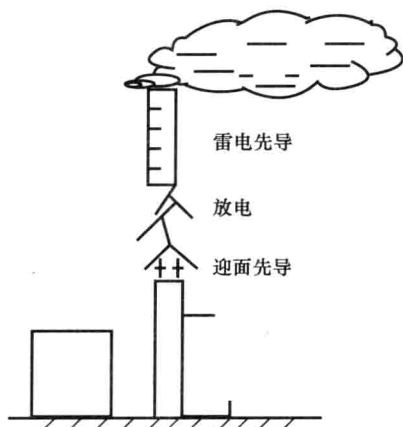


图 1-2 雷电放电过程示意

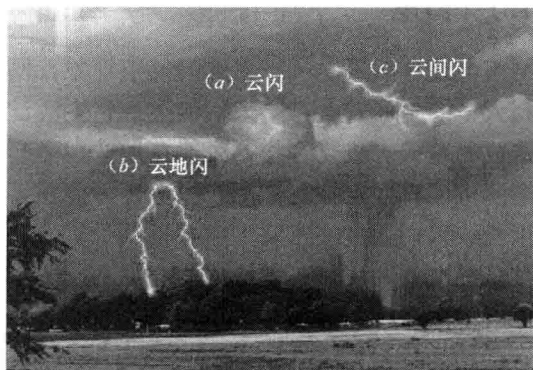


图 1-3 雷电放电种类

1.2 雷电危害

雷电在造福人类（有关生命起源、杀菌和有利植物生长等）的同时，更多的是危害人类生命及毁坏生存环境。雷电危害范围很广，几乎涉及人类生产、生活的各个方面，是联合国公布的最严重的十种自然灾害之一。

1.2.1 雷电的分类

1. 直击雷

直击雷是指雷电直接击在建筑物或动植物上，造成建筑物损坏或人员伤亡的一种危害，若无防护措施，将直接造成损害。而对已经安装了防直击雷避雷设施的建筑物而言，雷电流大部分会通过接闪器（避雷针、带、网、线）、引下线及接地装置构成的电气通路泄入大地。雷电直接击中建筑物时，雷电约 50% 的能量将会从防直击雷避雷设施泄放到大地，接近 40% 的能量进入建筑物的供电系统，5% 左右的能量进入建筑物的通信网络线缆，其余的雷击能量进入建筑物的其他金属管道、缆线。能量进入的比例会随着建筑物内的布线状况和管线结构而有所不同，这些进入的能量将对各种设施构成威胁。

2. 雷击电磁脉冲

雷击放电时，在附近导体上产生的静电感应和电磁感应等现象称之为感应雷击。以往

把直击雷之外的危害称为感应雷或雷电二次效应,但这种说法不够确切,近年国际上逐渐用雷击电磁脉冲(LEMP)取而代之。雷击电磁脉冲的概念比感应雷包含更广,可以说包括了除直击雷以外的所有雷击危害。某一地区发生雷击时,其周围 1.5km 内均为电磁脉冲有效影响范围,在此范围所有导体上均可能产生足够强度的感应浪涌。因此分布于建筑物内外的各种电力、信息线路将会因感应雷电而导致设备、线路损坏。雷击电磁脉冲的入侵途径包括:

(1) 避雷针接闪时产生的二次感应雷击效应,将雷电流感应到各种线路上。

(2) 通过电源线、信号线或天线引入感应雷击,通过电感性耦合(磁感应)耦合到各类传输线而破坏设备。

(3) 地电位反击引入感应雷击通过阻性耦合方式经数据线破坏设备;通过阻性耦合方式产生高达 6000V 冲击电压经中性线及地线破坏电子设备。

感应雷虽然没有直击雷猛烈,但其发生的几率比直击雷高得多。直击雷只发生在雷云对地闪击时才会对地面造成灾害,而感应雷则不论云地闪击或者云间闪击,都可能发生并造成灾害。此外直击雷一般一次只能袭击一个小范围的目标,而一次雷闪击可以在较大范围内的多个小局部同时产生感应雷过电压现象,并且这种感应高电压可以通过电力线、通信线等线路传输到很远,使雷害范围扩大。

3. 球形雷

球形雷是一种特殊的雷电现象,也称球雷。球形雷是橙或红色,或似红色火焰的发光球体(也有带黄色、绿色、蓝色或紫色的),直径约为 10~20cm,最大的直径可达 1m,存在的时间大约为百分之几秒至几分钟,一般是 3~5s。其下降时有的无声,有的发出嘶嘶声,一旦遇到物体或电气设备会产生燃烧或爆炸。球形雷主要是沿建筑物的孔洞或开着的门窗像火球一样侵入室内,也有的由烟囱或通气管道滚进楼房,多数沿带电体消失,消失时发出巨响,能量足以破坏普通的建筑物。由于爆炸时空气发生了化学反应,生成臭氧和一氧化氮,故球形闪电消失后有一股难闻的味道。球形雷是自然界可怕的现象之一,现有的理论尚不能完全解释球形闪电之谜,球形闪电可能是一系列作用过程的结果。球形雷见图 1-4。

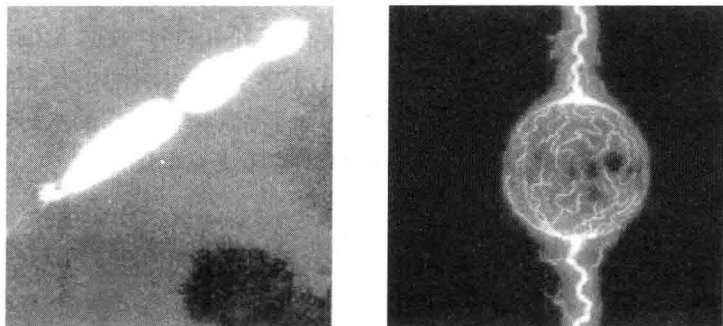


图 1-4 球形雷

4. 雷电侵入波

雷电侵入波是指雷击在架空线路、金属管道上会产生冲击电压,使雷电波沿线路和管道迅速传播,若侵入建筑内可造成配电装置和电气线路绝缘层击穿产生短路或使建筑物内

的易燃可燃物品燃烧或爆炸。据有关资料介绍，雷电侵入波造成的事故在雷电事故总数中占有较大的比重。

1.2.2 雷电的危害

雷电的危害主要包括直击雷危害和雷击电磁脉冲危害，雷电危害的破坏作用主要是通过其产生的电效应、热效应、机械效应、电磁场效应等方式形成。雷电危害的方式见图 1-5。

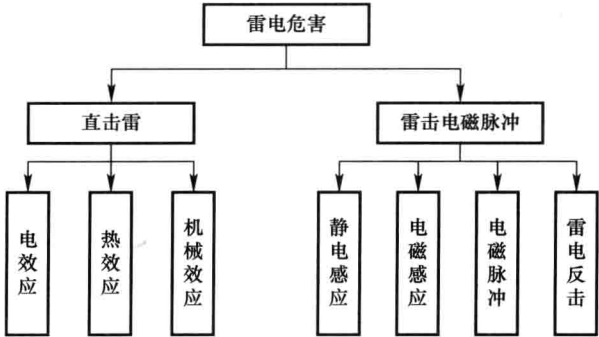


图 1-5 雷电危害的方式

1. 电效应

在雷电放电时，能产生高达数万伏甚至数百万伏的冲击电压，过电压会击穿发电机、电动机、电力变压器、电缆等电气设备的绝缘，使高压窜入低压，造成设备损坏或发生触电事故，甚至发生火灾和爆炸。在雷雨天，室内电气设备突然爆炸起火或损坏，人在屋内使用电器或打电话时突然遭电击身亡等都可能属于雷击电效应导致的故事。

另一方面雷电流通过导体产生电磁力，由电磁学可知，载流导体周围的空间存在着磁场，在磁场中的载流体会产生电磁力，因此，在载流导体通过巨大的雷电流时产生的电磁力的作用下，载流导体有可能会变形，甚至发生折断。

2. 热效应

当强大的雷电流通过被雷击的物体时，在极短的时间内将产生大量的热能，雷击点的发热量达数百焦耳，温度可达 1 万~2 万摄氏度，这一能量可瞬间熔化钢筋等物体。雷击在易燃物上容易引起火灾，同时雷电产生的热能还将导致物体内部的水分蒸发为气体，气体膨胀使被雷击物体内部出现强大压力，造成设施破坏或发生爆炸。

3. 机械效应

在发生雷击时，雷电的机械效应表现为两种形式，即电效应产生的电磁力及热效应产生的物体内部压力。

4. 静电感应

当金属物处于雷云和大地电场中时，由于静电感应的作用会感生出大量的电荷。当雷击放电后，雷云与大地间的异种电荷迅速中和，但金属物上感应积聚的电荷却来不及立即消散，这样就会产生高达几万伏的感应电压，称为静电感应电压。静电感应电压可以击穿数十厘米的空气间隙，发生火花放电，对信息系统和电气设备均能造成破坏，甚至造成人

人员伤亡，若发生在易燃易爆场所还可能发生火灾和爆炸。静电感应属于雷电的间接破坏作用，具有更大的危害范围。

5. 电磁感应

雷电产生的高电压和大电流，使它周围的空间里产生强大的交变电磁场，电磁场中的导体会感应出较大的电动势，并且还会在构成闭合回路的金属物体上产生感应电流，这时如回路上有的地方接触电阻过大，就会局部发热或发生火花放电。若发热或发生火花放电发生在易燃易爆场所，就可能发生火灾和爆炸。雷电的电磁感应与静电感应也称为感应雷或二次雷，电磁感应与静电感应一样属于雷电的间接破坏作用，具有更大的危害范围。

6. 电磁脉冲

电磁脉冲的定义为：与雷电放电时的电磁辐射所产生的电场和磁场能够耦合到电气和电子系统中，产生暂态过电压和过电流。暂态过电压会对信息系统、电器设备以及接触这些设备的人造成危害。暂态过电流经接地体流入大地，在周围地面产生的电位差（跨步电压），也对人身安全造成威胁。

7. 雷电反击

雷电反击是指接受直击雷的金属体（包括接闪器、接地引下线和接地体），在接闪瞬间与大地间存在很大的电压，进而对与大地连接的其他金属物品发生闪击的现象。此外，当雷击到树等物体时，树上的高电压与它附近的房屋、金属物品之间也会发生闪击。当防雷装置接受雷击时，在接闪器、引下线和接地体上都具有很高的电压，如果防雷装置与建筑物内外的电气设备、电气线路或其他金属管道的相隔距离很近，它们之间就会产生放电，可能引起电气设备绝缘破坏、金属管道烧穿等后果。

雷电反击还包括地电位反击，如果雷电直接击中具有避雷装置的建筑物或设施，接地网的地电位会在数微秒之内被抬高数万或数十万伏。雷电流将从各种装置的接地部分，流向供电系统或各种弱电信号系统，或者击穿大地绝缘而流向另一设施的供电系统或弱电信号系统，从而破坏或损害电子电气设备。同时，在未实行等电位连接的导线回路中，可能存在诱发高电位而产生火花放电的危险。

1.2.3 电子信息时代雷电危害的特点

随着科学技术的发展，人类社会的生产、生活状况得到了很大改变，电子技术的应用已经渗透到生产和生活的各个领域。电子器件极端灵敏，这一特点很容易受到雷击电磁脉冲（LEMP）无孔不入的作用，造成电子设备失控或者损坏。在这个改变中，雷电本身并没有变，是人类生活方式的改变使雷灾的主要对象集中在了电子器件上。为此，当今时代的防雷工作的重要性、迫切性、复杂性大大增加了，雷电的防御已从直击雷、感应雷防护演变到除了对直击雷进行防护外，重点是对雷击电磁脉冲（LEMP）的防护，雷电危害呈现出以下特点：

- （1）受灾面大大扩大：从电力、建筑等传统领域扩展到几乎所有行业。
- （2）空间范围扩大：从闪电直击和过电压波沿线路传输，变为空间闪电的脉冲电磁场从三维空间入侵到任何角落。一次闪电可能造成附近设施同时受到雷灾。
- （3）雷灾的经济损失和危害程度大大增加：它袭击的对象本身的直接经济损失有时并不大，但由此产生的间接经济损失和影响可能会难以预料。

配电柜遭受雷击见图 1-6。

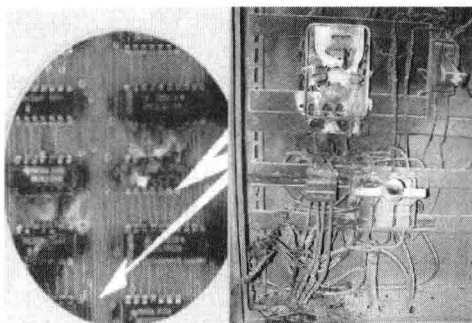


图 1-6 配电柜遭受雷击

1.3 雷电特性

雷电具有高电流、高电压、变化快、放电时间短、辐射强等特征。实践证明雷电活动具有一定规律，分析、掌握雷电的特性，对如何进行科学雷电防护具有重要的现实意义。

1.3.1 雷击及雷电流

统计资料表明，每次雷击闪电电流大小和波形有很大差别，尤其是不同种类放电差别更大。雷电流在流通过程中是变化的，其在几个微秒内达到最大值，数十至数百千安，然后在几十微秒内衰减。雷电流大小和波形与许多因素有关，其中主要的有地理位置、地质条件、季节和气象条件。由于气象情况有很大的随机性，因此研究雷电流大多数采用大量观测记录，用统计的方法寻找出它的概率分布的方法。雷电破坏作用与峰值电流及其波形有最密切的关系。

由典型的雷云电荷分布可知，雷云下部带负电荷，而上部带正电荷。根据云层带电极性来定义雷电流的极性时，云层带正电荷对地放电称为正闪电，而云层带负电荷对地放电称为负闪电。正闪电时正电荷由云到地，为正值，负闪电时负电荷由云到地，故为负值。一次雷击大多数分成 3~4 次放电，一般是第一次放电的电流最大，正闪电的电流比负闪电的电流大。

云地间放电形成的先导是从云层内的电荷中心伸向地面，这叫做向下先导。其最大电场强度出现在云体的下边缘或地上高耸的物体顶端。雷电先导也可能是从接地体向云层推进的向上先导。只沿着先导方向发生电荷中和的闪电叫无回击闪电，可以分成四类，如图 1-7 (a) 所示。当发生先导放电之后还出现逆先导方向放电的现象，称为有回击闪电，可以分成四类，如图 1-7 (b) 所示。

1.3.2 闪电的电荷量

雷云是否会向大地发生闪击，由几个基本因素决定，其一是云层带电荷多少，其二是云地间的电场强度，或者说把云层与大地之间形成的电容模拟为平板电容时，它对大地的电容是多少。当然这个模拟电容两极之间的电压就是由电容和带电量决定的。当这个模拟电容内

的电位梯度达到闪击值时就会发生闪击。当闪击一旦发生，云地之间即发生急剧的电荷中和。

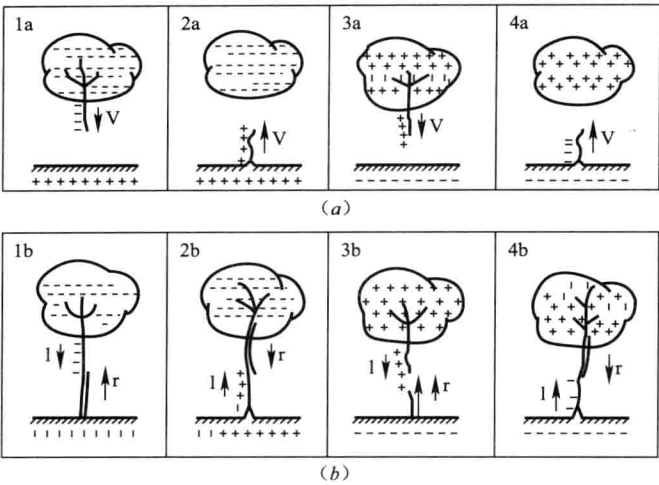


图 1-7 八类闪电（根据先导和回击的方向）
V——先导；r——回击；l——发展方向

闪电电荷量是指一次闪电中正电荷与负电荷中和的数量。这个数量直接反映一次闪电放出的能量，也就是一次闪电的破坏力。闪电电荷的多少是由雷云带电荷情况决定的，与地理条件和气象情况有关，也存在很大的随机性。大量观测数据表明，一次闪电放电电荷可从零点几库仑到 1000 多库仑。在一次雷击中，在同一地区它们的数量分布符合概率的正态分布，第一次闪击的放电量在 10 多库仑者居多。这些电荷在微秒的时间内瞬时放电，所以，云层对大地之间的电压高达几百万到几千万伏。

雷电之所以破坏性很强，主要是因为它把雷云蕴藏的能量在短短的几十微秒放出来，从瞬间功率来讲，它是巨大的。但据有关资料计算，每次闪击发出的总能量并不大，只相当燃烧几千克石油所放出的能量。

1.3.3 雷电过电压及分类

雷电过电压又称大气过电压或外部过电压，它是由于设备或构筑物遭受来自大气中的雷击或闪电感应而引起的过电压。这种过电压通常为单极性，持续时间约为几十微秒，实际波形有很大分散性，具有脉冲的特性，故也称为雷电冲击波或闪电电涌。雷电流是产生过电压的根源，雷电电磁场则是产生感应过电压的根源。雷电过电压主要包括直击雷过电压、感应雷过电压、侵入雷电波过电压及雷电流引起的过电压。雷电过电压幅值与系统标称电压无关，因此对中、低压系统绝缘危害最大，对高压系统绝缘也有较大的危害。雷电冲击波，其电压和电流幅值远远超过了设备系统正常工作的电压电流范围，必须采取有效措施加以防护。

1. 直击雷过电压

直接雷击过电压是指雷云直接对电器设备或电力线路放电，雷电流流过这些设备或线路时，在雷电流流路径的阻抗（包括接地电阻）上产生冲击电压，引起过电压。这种过电压称为直接雷击过电压。