

建筑电气设计 计算手册

第③分册

防雷与消防系统

郭建林 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

建筑电气设计计算手册

第③分册

防雷与消防系统

主编 郭建林

参编 张玉辉 姜振博

史 新 白雅君



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为《建筑电气设计计算手册》(第三分册 防雷与消防系统)。本书主要介绍建筑物的防雷防火与接地技术,主要内容涉及三部分:第一部分防雷保护部分,介绍了雷电常识、雷电过电压的分类和防雷装置、建筑物的防雷措施、电力装置的防雷措施、雷击电磁脉冲的防护、建筑物电子信息系统的防雷设计;第二部分接地技术部分,介绍了接地的基本知识、接地电阻、供配电系统的接地、信息系统的接地、智能建筑的防雷接地、等电位联结;第三部分防火保护部分,介绍了火灾自动报警系统的概念和设计以及各类建筑物的防火设计。

本书内容全面,通俗易懂,实用性强,可供从事防雷工程设计、施工和维护的技术人员阅读参考,也可作为大中专院校电气类相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑电气设计计算手册. 第3分册, 防雷与消防系统/郭建林主编. —北京: 中国电力出版社, 2010. 8

ISBN 978-7-5123-0598-4

I. ①建… II. ①郭… III. ①房屋建筑设备: 电气设备-设计计算-手册②房屋建筑设备-防雷-设计计算-手册③房屋建筑设备: 消防设备-设计计算-手册 IV. ①TU85-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 121050 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2011 年 4 月第一版 2011 年 4 月北京第一次印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 12.75 印张 372 千字

印数 0001—3000 册 定价 29.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



前言

雷电每时每刻都给人类带来巨大的威胁,云层对大地的放电可造成人员伤亡和社会经济的重大损失,尤其是对弱电设备,我国每年因雷电破坏建筑物内电气设备的事件时有发生,所造成的损失非常巨大,因此如何减少雷电给人类带来的损失就显得尤为重要。

随着现代化社会的发展,各种电气设备的使用日趋增多,计算机网络信息技术的普及,建筑物越来越多采用各种信息化的电气设备。如何减少雷电对人类造成的伤亡以及对建筑物内电气设备的破坏呢?防雷成为首要环节。本书主要从三大方面对建筑物和供配电系统的防雷保护、接地技术和防火保护进行了详细的介绍。

第一章~第六章主要介绍了防雷保护,包括雷电常识、雷电过电压分类和防雷装置、建筑物防雷措施、电力装置防雷措施、雷击电磁脉冲防护和建筑物电子信息系统的防雷设计。

第七章~第十二章主要介绍了接地技术,包括接地的基本知识、接地电阻、供配电系统的接地、信息系统的接地、智能建筑的防雷接地和等电位联结。

第十三章~第十五章主要介绍了防火保护,包括火灾自动报警系统的概述、火灾自动报警系统的设计和各类建筑物的防火设计。

本书涵盖知识面比较广泛,注重理论知识与实际工程实践相结合,并配以图、表、相关计算等帮助读者对知识点加深理解。

本书在编写过程中,张斌、严春、邓敏、李俊、许辉、李晓楠、李占杰、王帅等协助做了大量的工作,在这里一并表示感谢。

限于时间和水平,疏漏和不妥之处在所难免,敬请读者指正批评并提出宝贵意见。

编者

2010年6月



目 录

前言

第一章 雷电常识	1
第一节 雷电形成及特点.....	1
第二节 雷击闪电的特性.....	5
第三节 雷电危害	13
第二章 雷电过电压分类和防雷装置	22
第一节 雷过电压分类	22
第二节 接闪器	26
第三节 避雷器	49
第四节 引下线	64
第五节 接地装置	65
第六节 信息系统防雷装置	68
第三章 建筑物防雷措施	77
第一节 建筑物防雷等级分类	77
第二节 第一类防雷建筑物防雷措施	78
第三节 第二类防雷建筑物防雷措施	84
第四节 第三类防雷建筑物防雷措施	90
第五节 其他防雷措施	93
第六节 特殊建(构)筑物防雷设计	95
第七节 民用建筑物防雷措施.....	100
第四章 电力装置防雷措施	103
第一节 架空线路防雷保护.....	103
第二节 发电厂和变电所的过电压保护.....	107
第三节 架空配电网保护.....	120
第四节 旋转电机及其他设备雷电过电压保护.....	125

第五章 雷击电磁脉冲防护	132
第一节 概述.....	132
第二节 防雷区.....	133
第三节 防雷击电磁脉冲的措施.....	137
第四节 对电涌保护器的要求.....	149
第六章 建筑物电子信息系统的防雷设计	159
第一节 雷电防护分区及雷电防护分级.....	159
第二节 防雷设计.....	165
第七章 接地的基本知识	179
第一节 接地的作用、分类及其接地范围.....	179
第二节 各种接地的应用.....	186
第三节 接地装置.....	207
第八章 接地电阻	214
第一节 概述.....	214
第二节 接地电阻的计算.....	227
第三节 接地电阻与土壤电阻率的测量.....	234
第四节 降低接地电阻的措施.....	243
第九章 供配电系统的接地	246
第一节 低压配电系统的接地.....	246
第二节 发配电设备的接地.....	252
第三节 输配电线路的接地.....	254
第十章 信息系统的接地	256
第一节 通信系统的接地.....	256
第二节 电子设备的接地.....	262
第三节 电声、电视系统的接地.....	269
第十一章 智能建筑的防雷接地	274
第一节 智能建筑的防雷系统.....	274
第二节 智能建筑的防雷技术.....	277
第三节 智能建筑的接地系统.....	279

第四节	综合布线系统的防雷设计·····	286
第十二章	等电位联结·····	295
第一节	概述·····	295
第二节	等电位联结的应用·····	297
第十三章	火灾自动报警系统的概述·····	303
第一节	火灾自动报警系统的作用及工作原理·····	303
第二节	火灾自动报警系统的构成·····	304
第三节	系统保护对象分级与报警、探测区域的划分·····	306
第四节	火灾自动报警系统的形式·····	314
第十四章	火灾自动报警系统的设计·····	317
第一节	系统形式的选择和设计要求·····	317
第二节	火灾探测器的选择与布置·····	318
第三节	消防联动控制·····	348
第四节	火灾应急广播与火灾警报·····	354
第五节	消防专用电话·····	360
第六节	火灾应急照明·····	361
第七节	消防控制室·····	368
第八节	导线选择与线路敷设·····	370
第九节	火灾自动报警系统供电·····	376
第十五章	各类建筑物的防火设计·····	383
第一节	高层民用建筑的防火设计·····	383
第二节	多层工业与民用建筑的防火设计·····	387
第三节	其他建筑物的防火设计·····	395
参考文献 ·····		399



雷 电 常 识

第一节 雷电形成及特点



雷电是自然界中一种特殊且极其壮观的声、光、电现象。雷电给人类的生产和生活带来了巨大的影响。由于雷电造成的有机化合物的合成,可能在地球生命起源中占有一定的地位。雷电产生的臭氧,对自然界的细菌生长有一定的抑制作用。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,但雷电也会威胁到人畜的生命安全,给电力、通信、航空航天、铁路交通等部门的设备设施造成损害。自18世纪富兰克林发明了避雷针以来,人们致力于雷电及其防护的研究实践已有200多年的历史,对雷电的防护已经取得了很大的成绩,防雷实用技术进入了一个崭新的阶段。

一、雷电形成

雷电是带电云层(雷云)与建筑物、防雷装置、大地或其他物体之间的迅猛放电现象。

(一) 雷电形成的三个条件

雷电形成的三个条件是:①空气中必须有足够的水汽;②有使潮湿水汽强烈持久上升的气流;③有使潮湿空气上升凝结成水珠或冰晶的气象、地理条件。

(二) 雨滴分裂作用理论

当潮湿水汽上升到高空时,由于高空气温较低,潮湿水汽产生凝结,在上升气流运动的过程中逐渐增大形成小水滴。由于上升气流的不稳定,水滴在运动过程中相互摩擦、碰撞、分裂,形成大小不等的水珠。小水珠带负电荷,大水珠带正电荷,小水珠容易被上升气流带到上层云中,大水珠则留在下层云中或降落到地面,这样便形成了电荷的分离过程。当带电荷的云层逐步积累到足够的电荷量时,便产生闪电现象,形成雷电。试验证明:①水滴分裂时确实是小水珠带负



电荷，大水珠带正电荷；②分裂水滴所需气流的速度为 $3\sim 8\text{m/s}$ ，这正是雷云中上升气流的速度。

（三）电场极化理论

距离地面 80km 以上的电离层具有一定的导电能力，并且是带正电荷的，而大地是带负电荷的，从而形成比较稳定的大气电场。电离层和大地这两个带电导体中间被不导电的大气所绝缘，形成一个电容器，使处于其中的任何导体上端带负电荷、下端带正电荷（云层也是如此），即发生极化。此外，近地大气中还常有一定量的离子，其中正离子较重，约为电子质量的 2000 倍，且不大活动，而负离子则活动性较大。在大气电场的作用下，正离子向下运动，负离子向上运动，形成了上负下正的离子层。另外，空气中水滴分裂后形成的上负下正的带电云层进一步被大气电场极化，这些云层中的电荷量逐渐增多，积累到足够的能量时，就会产生闪电现象，形成雷电。

人们通常把发生闪电的云称为雷雨云，与闪电有关的几种云有积云、层积云、雨层云、积雨云等，其中最重要的是积雨云，通常我们所说的雷雨云就是指积雨云。

云的形成过程是空气中的水汽经由各种原因达到饱和或过饱和状态而发生凝结的过程。形成云的一个必要条件是使空气中水汽达到饱和，其主要方式有：①温度不变，增加水汽含量；②水汽含量不变，空气降温冷却；③既增加水汽含量，又降低温度。

对云的形成来说，最主要的过程是降温过程，而降温冷却过程中又以上升运动而引起的降温冷却作用最为普遍。

积雨云就是一种在强烈垂直对流过程中形成的云，因为地面吸收太阳的辐射热量远大于空气层，所以白天地面温度升高较多，夏日这种升温更为明显，所以近地面的大气温度由于热传导和热辐射也跟着升高。气体温度升高则导致体积膨胀，密度减小，压强随着降低，根据力学原理它就要上升，上方的空气层密度相对来说就较大，就要下沉。热气流在上升过程中膨胀降压，同时与高空低温空气进行热交换，于是上升气团中的水汽凝结而出现雾滴，就形成了云。在强对流的过程中，云中的雾滴进一步降温，变成过冷水滴、雪花或冰晶，并随高度逐渐增多。在冻结高度（ -10°C ）时，由于过冷水滴大量冻结

而释放潜热，使云顶突然向上发展，达到对流层顶部附近后向水平方向铺展，形成云砧，这就是积雨云的显著特征。

积雨云形成过程中，在温差起电效应、破碎起电效应及大气电场的同时作用下，正负电荷分别在云的不同部位积聚。当电荷积聚到一定程度时，就会在云与云之间或云与地之间发生放电，形成人们平时所说的“闪电”现象。

带负电荷的云层向下靠近地面时，地面的凸出物、金属等会被感应出正电荷，从而形成向上闪流，随着电场的逐步增强，雷云向下形成下行先导，两者相遇就形成对地放电，因此容易造成雷电灾害。

闪电的形状最常见的是枝状，此外还有片状、带状、球状。闪电的形式有云天闪电、云间闪电和云地闪电。云间闪电时云间的摩擦就形成了雷声。

二、雷电特点

大多数雷电发生在雷云之间，这对地面设施没有什么直接影响，而雷云对大地的放电和由此可形成的直击雷过电压、感应雷过电压、雷电侵入波以及偶然出现的球形雷，则对地面设施会造成危害。

(一) 直击雷

直击雷是指雷电直接击中电气设备、线路、建筑物或其他地面设施，根据经验可知，对大地放电的雷云大多数带负电荷（约占85%）。雷云对大地放电的基本过程可分为先导放电阶段、迎面先导阶段、主放电阶段和余辉放电阶段，如图1-1所示。

(1) 先导放电阶段。当雷云靠近大地时，地面感应出与雷云的电荷极性相反的电荷，当雷云与大地之间在某一方位的电场强度达到 $25\sim 30\text{kV/cm}$ 时，就开始有放电通道自雷云向这一方向发展。

(2) 迎面先导阶段。先导放电通道接近地面时，由于局部电场强度增加，常常形成一个上行的迎雷先导。

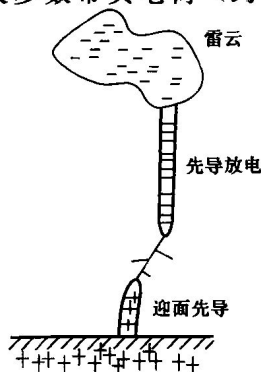


图 1-1 雷云对大地放电的基本过程



(3) 主放电阶段。当上、下先导相互接近时，正、负电荷强烈吸引中和而产生强大的雷电流，并伴有雷鸣电闪，这就是直击雷的主放电阶段，这个时间极短，一般约 $50\sim 100\mu\text{s}$ 。

(4) 余晖放电阶段。雷云中的剩余电荷继续沿主放电通道向大地放电，形成断续的隆隆雷声。这就是直击雷的余晖放电阶段，时间约为 $0.03\sim 0.15\text{s}$ ，电流较小，约几百安。

(二) 感应雷和雷电侵入波

当雷云在架空线路（或其他物体）上方时，线路上由于静电感应而积聚大量异性的束缚电荷。雷云主放电时，先导通道中的电荷迅速中和，架空线路上的电荷被释放，形成自由电荷，电荷流向线路两端，形成电位很高的感应雷过电压，如图 1-2 所示。高压线路上的感应雷过电压，它的幅值高达 $300\sim 400\text{kV}$ ，低压线路上的感应雷过电压也可达几万伏，对供电系统的危害非常大。

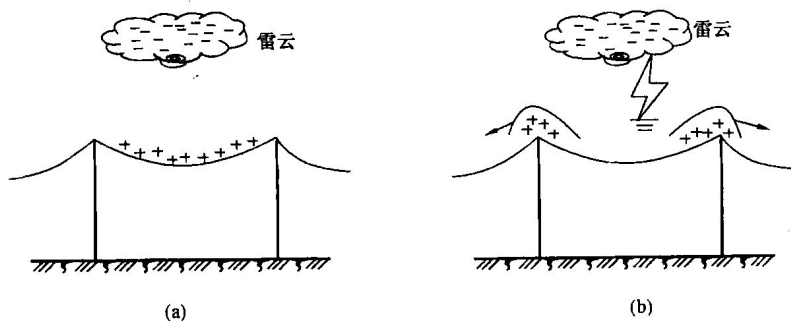


图 1-2 架空线路上的感应雷过电压

(a) 雷云在线路上方时；(b) 雷云对地放电后

架空线路遭受直击雷或感应雷时产生的雷电冲击波，会沿架空线路侵入变配电所或厂房等其他建筑物内，导致设备损坏。据统计，这种雷电侵入波引起的事故占电力系统雷害事故的 50% 以上，因此对雷电冲击波侵入的防护也应予以足够的重视。

(三) 球形雷

在雷电频繁的雷雨季节，偶尔会发现殷红色、灰红色、紫色或蓝色的“火球”，直径一般在 $10\sim 20\text{cm}$ ，最大可超过 1m 。存在的时间

一般约百分之几秒到几分钟，一般是 $3\sim 5\text{s}$ 。有时“火球”从天而降，然后又在空中或沿地面水平移动，有时平移有时滚动，通过开着的门窗、烟囱和其他缝隙进入室内，或无声地消失，或发出咝咝的声音，或发生剧烈的爆炸，爆炸后，物体遭受破坏，有臭氧、二氧化氮或硫磺的气味，因而人们习惯称之为“球形雷”。最常见的球形雷是沿大树滚下，有时燃烧树木，有时沿大树钻进室内，因此对木结构建筑、古建筑及高层建筑应采取防球雷的措施。球形雷的防避最好在雷雨天不要打开门窗，并在烟囱、通风管道等空气流动处装上网眼不大于 4cm^2 ，粗约 $2\sim 2.5\text{mm}$ 的金属保护网，并做好良好接地。

第二节 雷击闪电的特性



一、雷击

雷击的发生、雷电流大小与许多因素有关，最主要的因素是季节、气象、地理位置和地质条件等。其中气象情况有很大的随机性，因此研究雷电流大多采取大量观测记录，用统计的方法寻找出它的概率分布。雷电的破坏作用与峰值电流及其波形有着密切的关系。根据资料表明，各次雷击闪电的电流大小和波形差别很大，尤其是不同种类放电差别更大。

由典型的雷雨云电荷分布可知，雷雨云上部带正电荷，而下部带负电荷。因此云层对地是否发生闪电，主要取决于云体的电荷量及对地高度或者说云地间的电场强度。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，正闪电时正电荷由云到地，故为正值；而云层带负电荷对地放电称为负闪电，负闪电时负电荷由云到地，故为负值。

云地间放电形成的先导叫做向下先导，是从云层内的电荷中心伸向地面，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，而雷电先导从接地物体向云层推进则被称为向上先导，因此可以把闪电分为四类，如图 1-3 (a) 所示。只沿着先导方向发生电荷中和的闪电叫无回击闪电。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，分为四类，如图 1-3 (b) 所示。

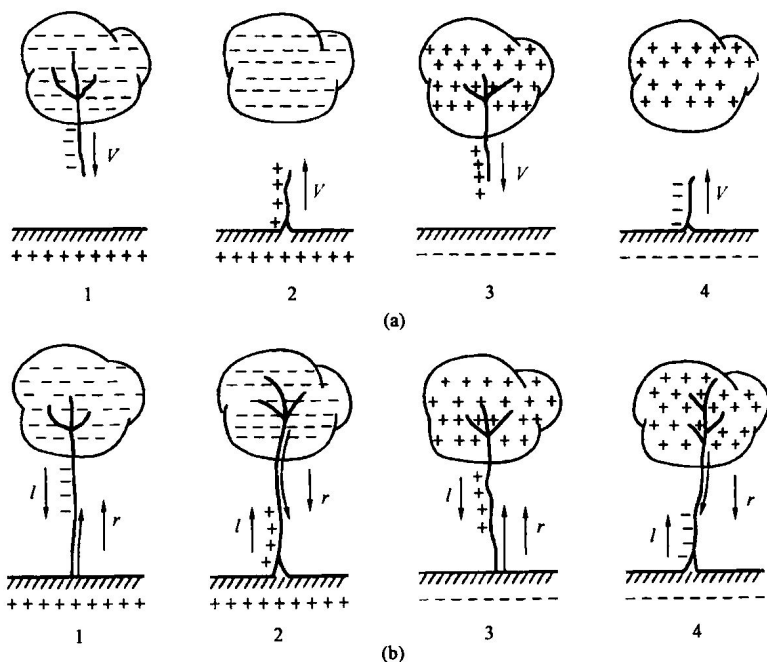


图 1-3 八类闪电（根据先导和回击的方向）

V —先导； r —回击； l —发展方向

二、雷电参数

（一）雷暴日、雷电小时和地面落雷密度

雷暴日、雷电小时和地面落雷密度是描述雷电活动的三个基本参数，在防雷设计中占有十分重要的地位。

1. 雷暴日

雷暴日是指在指定地区内一年四季所有发生雷电放电的天数，用 T_d 表示。一天内只要听到一次或一次以上的雷声就算是一个雷暴日。雷暴日的天数越多，表示该地区雷电活动越强，反之则越弱。这里所说的雷声既包括雷云对地放电发出的，也包括雷云之间放电发出的，由此可知，雷暴日并不仅仅表征地面落雷的频繁程度。由于在不同年份中观测到的雷暴日数变化较大，所以要将多年份雷暴日观测数据进行平均，取其平均值（即年平均值）作为防雷设计中使用的雷暴日数

据。地面上不同地区雷电活动的频繁程度通常是以年平均雷暴日数度量的。

由于我国幅员辽阔，各地区的雷电日数之间存在着较大的差异，全国各地的雷电活动情况大致可归结为：华北比东北强，长江流域比华北强，西南比长江流域强，华南比西南强。海南省和广东的雷州半岛是我国雷电活动最为频繁的地区，它们的年平均雷电日高达 100~133。北纬 23.5°以南一般在 80 以上，北纬 23.5°到长江一带约为 40~80，长江以北大部分地区（包括东北）多在 20~40 之间。总的来说，我国是一个雷电活动很强的国家。全国一些重要城市的年平均雷暴日见表 1-1 所示。

表 1-1 全国一些重要城市的年平均雷暴日

城市	雷暴日 (天/年)	城市	雷暴日 (天/年)	城市	雷暴日 (天/年)
北京	36.3	杭州	37.6	贵阳	49.4
天津	29.3	合肥	30.1	昆明	63.4
上海	28.4	福州	53.0	拉萨	68.9
重庆	36.0	南昌	56.4	西安	15.6
石家庄	31.2	济南	25.4	兰州	23.6
太原	34.5	郑州	21.4	西宁	31.7
呼和浩特	36.1	武汉	34.2	银川	18.3
沈阳	26.9	长沙	46.6	乌鲁木齐	9.3
长春	35.2	广州	76.1	海口	104.3
哈尔滨	27.7	南宁	84.6	香港	34.0
南京	32.6	成都	34.0	台北	27.9

2. 雷电小时

雷电小时是指在 1h 内，只要听到一次或一次以上雷声就算是一个雷电小时。为了区别不同地区每个雷暴日内雷电活动持续时间的差别，也有用雷电小时数来作为雷电活动频繁程度的计量单位。

3. 地面落雷密度

雷暴日和雷电小时的统计均未区分雷云之间放电和雷云对地放



电,从大量的观测统计数据来看,雷云之间放电远多于雷云对地放电。在一定区域内,如果雷暴日数越多,则雷云之间放电的比例也就越大。雷云之间放电与雷云对地放电之比在温带约为 $1.5\sim 3$,在热带约为 $3\sim 6$ 。对于建筑物防雷设计来说,更具有实际意义的是雷云对地放电的年平均次数。

雷云对地放电的频繁程度称为地面落雷密度,是指每个雷暴日每平方公里地面上的平均落雷次数,用 γ 来表示。事实上,地面落雷密度 γ 与年平均雷暴日数 T_d 有关,如果 T_d 增大,则 γ 也随之增大。由于我国幅员辽阔, T_d 变化很大, γ 变化也很大,因此在防雷设计中一律采用同一个 γ 值将会造成误差。

(二) 雷电流

从大量的实测统计数据来看,各种形式的雷击电流脉冲可以简化为首次短时雷击、后续短时雷击和长时间雷击三种简单的基本雷击电流脉冲,波形见图 1-4。其中,首次短时雷击和后续短时雷击的波形基本相似,实际上可将雷击电流脉冲归纳为“短时雷击”和“长时间雷击”两种基本雷电流波形。

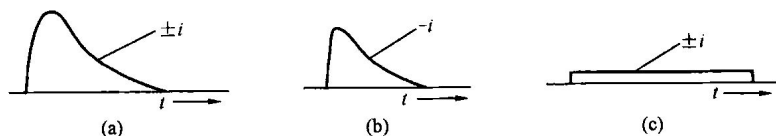


图 1-4 闪击中可能出现的三种雷击电流波形

(a) 首次短时雷击; (b) 后续短时雷击; (c) 长时间雷击

短时雷击电流大致呈单极性的脉冲波形。主要可以采用雷电流的幅值、半幅值时间和波头时间三个参数来表示。由波头时间和幅值所决定的雷电流上升沿变化率通常被称作雷电流的波头陡度,它对于雷电过电压和电磁干扰水平有着直接的影响。

图 1-5 给出了一个实测记录的短时雷击电流波形。图中电流是负值,表示是由负闪击而产生的。如果只考虑绝对值,曲线将沿横轴向上翻转 180° ,所得波形与图 1-4 (a) 是非常接近的。

1. 雷电流幅值

雷电流幅值是指雷电流波形上的最大值,只能通过统计和相应的

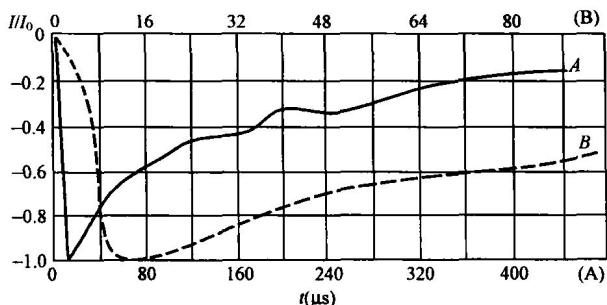


图 1-5 实测记录的短时雷击电流波形

A—完整记录的波形；B—放大的波前沿

经验公式来确定，因为雷云对地放电的随机性较大。

雷电流幅值积累概率曲线是指通过大量的雷电流实测数据统计出各不同大小的雷电流幅值出现的积累概率（大于或等于某一雷电流幅值的概率）。在防雷设计中，通常采用雷电流幅值积累概率曲线来描述，如图 1-6 所示。

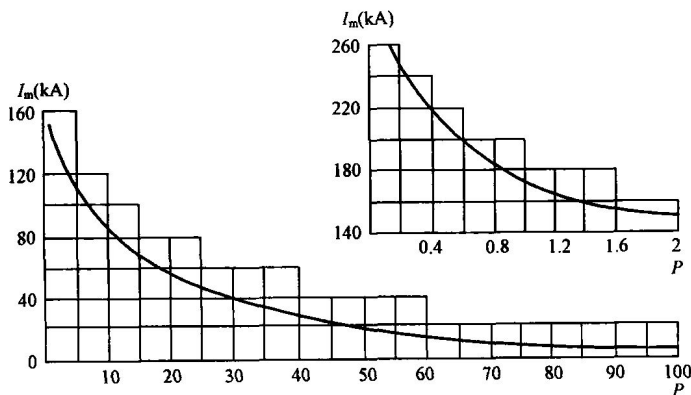


图 1-6 雷电流幅值积累概率曲线

2. 波头时间和半幅值时间

雷电流的波头时间 t_{OD} 是指在雷电流波形上从起始点上升到幅值所需要的时间，单位为 μs ，如图 1-7 所示。当雷电流幅值一定时，波头时间越短，则雷电流上升速度越快，其曲线也越陡，引起的感应雷



过电压幅值相应的就越大。

半幅值时间 t_{OE} 是指波形上从起始点上升到幅值后再下降到半幅值所需要的时间，单位也为 μs 。

实际上，对于许多实测波形，常采用作图法得出波头时间，如图 1-8 所示。在纵轴上经过 $0.1I_m$ 、 $0.9I_m$ 两点分别作平行于横轴的直线交曲线于 A、B 两点。经过 A、B 两点作直线，与时间轴交于 F 点，与幅值切线交于 G 点。FG 线在时间轴上的投影 τ_f 即为波头时间。在纵轴上经过 $0.5I_m$ 作平行于横轴的直线交曲线于 E 点。FE 两点的水平距离 τ_t 即为半幅值时间。

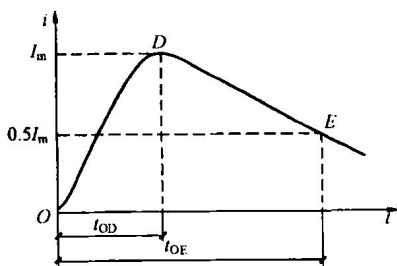


图 1-7 波头时间和半幅值时间示意

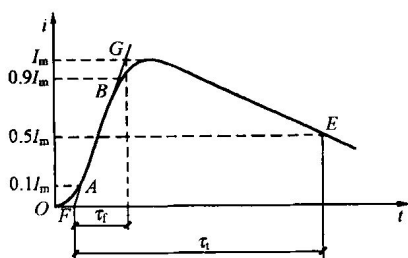


图 1-8 波头时间和半幅值时间的定义方法

由以上分析可知，对于短时雷击电流脉冲来说，仅用电流幅值来表示是不够的。必须将 I_m 、 τ_f 和 τ_t 三个参数同时表示出来，一般记作 $I_m (\tau_f/\tau_t, \mu s)$ 。例如，某雷电流幅值 $I_m = 200A$ ， $\tau_f = 20\mu s$ ， $\tau_t = 380\mu s$ ，则记作 $200A (20/380\mu s)$ 。

长时间雷击电流由电量 Q_L 和时间 T 两个参数表示，其定义如图 1-9 所示。 Q_L 是长时间雷击脉冲的总电量， T 是从波头电流达幅值的 10% 起，至波尾下降到幅值 10% 时所包含的时间。长时间雷击的平均电流 $I \approx Q_L/T$ 。

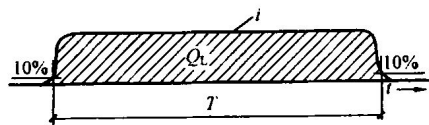


图 1-9 长时间雷击电流脉冲参数定义
 Q_L —长时间雷击电量； T —时间

3. 雷电流的等值波形

在防雷工程设计中，常用的雷电流等值波形有以下三种：