

中华人民共和国国家军用标准

FL 0114

GJB 5080—2004

军用通信设施雷电防护设计与使用要求

Requirements of the design of the
thunder-proof apparatuses in military communication facility

2004—03—10 发布

2004—07—01 实施

中国人民解放军总装备部 批准

目 次

前言	III
1 范围	1
2 引用文件	1
3 通信设施防雷运行管理	1
3.1 总则	1
3.2 运行维护	1
3.3 竣工验收	1
3.4 雷害分析与统计	1
4 通信电源系统雷电防护设计使用要求	2
4.1 通信电源系统防雷设计	2
4.2 通信电源系统接地设计	2
4.3 通信有人站电源系统防雷与接地	2
4.4 通信电力电缆耐雷电冲击指标	2
4.5 通信电源系统设备耐雷电冲击指标分类	2
4.6 通信电源系统防雷措施	2
4.7 通信电源系统防雷与接地	5
4.8 避雷器的选择	6
4.9 避雷器的残压要求	6
4.10 通信开关电源的雷电过电压保护	7
4.11 通信台站变电所防雷保护	7
5 通信台站防雷与接地	7
5.1 通信台站设施防雷	7
5.2 通信台站设施的防雷接地	7
5.3 通信台站的联合接地系统	8
5.4 接地电阻	10
5.5 防雷措施	11
6 通信电缆、光缆、地线布放雷电防护设计要求	11
6.1 绝缘塑料外护层金属线电缆的综合保护设计要求	11
6.2 通信光缆的雷电防护	11
6.3 基本保护措施	12
6.4 介质光缆或无金属光缆的雷电防护	12
6.5 通信电缆以及地线布放设计要求	12
6.6 通信电缆屏蔽要求	12
7 通信信息系统有效雷电防护设计要求	12
7.1 直接雷击对信息系统瞬态耦合的防护	12
7.2 防雷保护系统	13
7.3 计算机系统雷电过电压防护	14
7.4 计算机通信网络系统综合保护设计	14

7.5	计算机通信信号数据线雷电过电压保护要求	15
7.6	通信信号线及程控交换机的雷电过电压保护设计	16
7.7	通信传输设备的雷电过电压保护设计	16
7.8	无线通信系统天馈线的雷电过电压保护设计	16
7.9	通信遥控、监控系统雷电过电压保护设计	17
7.10	一般 SPD 的选择	17
7.11	信号线 SPD 的选择	17
7.12	同轴 SPD 的选择	17
7.13	计算机、控制终端、监控系统的网络数据线 SPD 的选择	18
7.14	信号系统的 SPD 的选择	18
7.15	综合通信大楼内部通信信息系统雷电防护	18
7.16	通信信息系统的等电位连接	18
8	通信建筑物综合防雷设计要求	19
8.1	适用范围	19
8.2	钢筋混凝土建筑物	19
8.3	通信建筑物外部防雷装置	19
8.4	雷电防护布置	21
8.5	防雷引下线	22
8.6	对于非独立于需要防雷的空间防雷装置的引下线的安装	22
8.7	独立防雷装置的布置	23
8.8	非独立的防雷装置的布置	23
8.9	接地装置	23
8.10	线夹和连接点	24
8.11	材料	24
8.12	内部防雷装置	25
8.13	各种装置与防雷装置之间的安全距离	26
附录 A	(资料性附录) 接地和反击的防止	27
附录 B	(资料性附录) 防雷与屏蔽技术	32
附录 C	(资料性附录) 雷电防护基本技术知识	39

前 言

本标准的附录 A、附录 B、附录 C 是资料性附录。

本标准由中国人民解放军总参谋部通信部提出。

本标准由中国人民解放军总参第六十一研究所归口。

本标准起草单位：中国人民解放军总参通信部驻济南地区军事代表室。

本标准主要起草人：李 强、荣 波、惠守强、刘友谊。

军用通信设施雷电防护设计与使用要求

1 范围

本标准规定了军用通信设施雷电防护设计与使用等要求。

本标准适用于军用通信设施雷电防护设计和使用。

2 引用文件

下列文件中的有关条款通过引用而成为本标准的条款。凡注日期或版次的引用文件,其后的任何修改单(不包括勘误的内容)或修订版本都不适用于本标准,但提倡使用本标准的各方探讨使用其最新版本的可能性。凡不注日期或版次的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB 11032—1989 交流无间隙金属氧化物避雷器

JB/T 5894 交流无间隙金属氧化物避雷器使用导则

3 通信设施防雷运行管理

3.1 总则

通信设施的雷电过电压及电磁干扰防护,是保护通信线路、设备及人身安全的重要技术手段,是确保通信线路、设备运行不可缺少的技术环节,是通信台站建设及设备运行管理工作的重要组成部分。

3.2 运行维护

运行维护要求如下:

- a) 每年雷雨季节前应对接地系统进行检查和维护。主要检查连接处是否紧固、接触是否良好、接地引下线有无锈蚀、接地体附近地面有无异常,必要时应挖开地面抽查地下隐蔽部分锈蚀情况,如果发现问题应及时处理;
- b) 接地网的接地电阻宜每年进行一次测量,测量仪表宜采用数字式接地电阻测量仪;
- c) 每年雷雨季节前应对运行中的防雷元器件进行一次检测,雷雨季节中要加强外观巡视,发现异常应及时处理。

3.3 竣工验收

竣工验收要求如下:

- a) 防雷工程施工应按设计要求精心施工,工程建设管理部门应有专人负责监督;
- b) 设计资料和施工记录应由相关的部门妥善存档备查;
- c) 通信设施应有防雷设计资料;
- d) 工程竣工时,应由通信工程建设管理部门组织验收;
- e) 对于通信设施防雷系统未达到设计要求或防雷系统资料、记录不齐全的,不予验收。

3.4 雷害分析与统计

3.4.1 雷害分析

设施遭受雷击后应对损坏情况进行调查分析,调查分析主要内容包括:

- a) 各种电气绝缘部分有无击穿闪络的痕迹,有无烧焦气味,设备元件损坏部位,设备的电气参数变化情况;
- b) 各种防雷元件损坏情况,参数变化情况;
- c) 安装了雷电测量装置的,应记录测量数据,计算出雷电流幅值;

- d) 了解雷害事故地点附近的情况,分析附近地质、地形和周围环境特点及当时的气象情况;
- e) 保留雷击损坏部件,必要时对现场进行拍照或录像、做好各种记录;
- f) 根据上述调查情况,组织有关专家分析,写出调查分析报告及改进措施。

3.4.2 雷害统计

雷害统计要求如下:

- a) 为做好通信设施防雷工作,应了解雷电活动规律、强度、雷击概率,掌握设备损坏情况及雷电入侵途径等,积累必要的资料;
- b) 各单位应根据具体情况建立本地区的雷电活动档案,对通信设施雷害进行统计;
- c) 通信设施发生雷害后应及时将初步情况逐级上报主管部门。

4 通信电源系统雷电防护设计使用要求

4.1 通信电源系统防雷设计

通信电源系统的防雷根据电源设备类型、运行及接地方式、安装地点、环境条件等因地制宜,合理制定雷电防护措施,做到经济合理,安全可靠。通信电源系统防雷设计要求如下:

- a) 通信电源系统的防雷应统筹设计、统筹施工,加强施工验收和维护管理;
- b) 雷电活动特别强的地区,应根据当地的实践经验,适当加强防雷措施;
- c) 从交流电力网高压线路开始到通信设备直流电源入口端,通信电源系统自身应采取分级协调的防护措施外,还应与通信系统的防雷、建筑物的防雷、通信系统的接地及通信系统电磁兼容要求协调配合。

4.2 通信电源系统接地设计

通信电源系统接地采用共用接地并加电涌保护器(SPD)。

4.3 通信有人站电源系统防雷与接地

通信有人站电源系统防雷与接地采用共用接地并加电涌保护器。

4.4 通信电力电缆耐雷电冲击指标

高、低压电力电缆耐雷电冲击指标见表 1。

表 1 电力电缆耐雷电冲击指标

电力电缆类型	额定电压 V	模拟雷电冲击电压波电压峰值 kV(1.2/50 μ s)
高压电力电缆	10000	75
	6600	60
低压电力电缆	220	6

注:对于高压电力电缆,是指在热状态下的耐受电压值,其雷电冲击耐受电压值应不超过相应电压等级电力设备的最高值。

4.5 通信电源系统设备耐雷电冲击指标分类

根据设备安装地点条件和额定工作电压的不同,通信工程电源系统设备按耐雷电冲击指标可分为 5 类,如表 2 所示。通信电源系统耐雷电冲击应不小于表 2 所示的数值。

4.6 通信电源系统防雷措施

4.6.1 交流供电线路防雷措施

交流供电线路防雷措施如下:

- a) 通信台站的交流供电系统应采用三相无线制供电方式;
- b) 当电力变压器设在站外时,对于地处年雷暴日大于 20d、大地电阻率大于 100 $\Omega\cdot$ m 暴露地区的高

压电力线路,宜在上方架设良导体避雷线,其长度应大于 500m,电力线应在避雷线的 25°角保护范围内,避雷线(除终端杆处)应每杆作一次接地,接地体宜设计成辐射形或环形,为了确保安全,宜在避雷线终端杆的前一杆上增装一组避雷器;

表 2 通信电源系统耐雷电冲击指标

类别	设备名称	额定电压 V	混合雷电冲击波	
			模拟雷电压冲击波峰值 kV(1.2/50 μ s)	模拟雷电流冲击波电压峰值 kA(8/20 μ s)
5	电力变压器	10000	75	20
		6600	60	20
	交流稳压器	220/380	6	3
4	市电油机转换屏	220/380	4	2
	交流配电屏			
	低压配电屏			
	备用发电机			
3	整流器	220/380	2.5	1.25
	交流不间断电源 (ups)			
2	直流配电屏	-24、-48、-60	1.5	0.75
1	通信设备机架电源 交流入口(由不间断电源供电)	220/380	0.5	0.25
	DC/AC 逆变器	-24、-48、-60		
	DC/DC 变换器			
	通信设备机架 直流电源入口			

注:当设备安装在不同的环境条件下,应套用相应类别的指标。

- c) 在架空避雷线的支柱上严禁悬挂电话线、广播线、电视接收天线及低压架空线等;
- d) 对已建站的高压架空电力线路进行防雷改造采用避雷线有困难时,可在电力线路终端杆及其前第一、第三或第二、第四杆上各增设一组避雷器,同时在第三杆或第四杆增设一组高压保险丝;
- e) 引入通信台站的架空电力线路与其他架空电力线路或架空通信线路交叉跨越时,其交叉隔距应满足表 3 中的等级要求;

表 3 架空电力线与架空通信线交叉跨越的隔距

额定电压(kV)	0.22/0.38	10	110	220
交叉距离(m)	1	2	3	4

- f) 电力电缆应先具有金属铠装层的电力电缆或其他护套电缆穿钢管埋地引入通信台站;
- g) 在年雷暴日数大于 20d,且土壤电阻率大于 100 $\Omega\cdot$ m 的地段,高压埋地电力电缆应采用以下防雷措施:在电力电缆上方 30cm 左右敷设防雷线,防雷线宜采用截面积不小于 50mm² 的镀锌圆钢,

雷害严重的地区其截面积应适当加大或并排敷设两根防雷线；

- h) 地理电力电缆金属护套两端应就近接地,在架空电力线路与地理电力电缆连接处应装设避雷器,避雷器的接地端子、电力电缆金属护层、绝缘子、铁脚、金具等应连在一起就近接地；
- i) 通信建筑物上的航空障碍信号灯、彩灯及其他用电设备的电源线,应采用具有金属护套的电力电缆,或将电源线穿入金属管内布放,其电缆金属护套或金属管道应每隔 10m 就近接地一次,电源芯线在机房入口处应就近对地加装电涌保护器；
- j) 地理电力电缆与地理通信电缆平行或交叉跨越的隔距应满足表 4 要求；

表 4 地理电力电缆与埋地通信电缆的隔距

地理电力电缆额定电压	最小隔距 m	
	平行	交叉跨越
35kV 以下	0.5	0.5(0.25)

注:地下电缆采用外加保护措施时,可采用表中括号内数值。

- k) 严禁采用架空交、直流电力线引出通信台站；
- l) 通信台站内的工频低压配电线,宜采用金属暗管穿线的布设方式,其垂直部分应尽可能靠近墙,金属暗管两端及中间应就近接地；
- m) 当电力变压器设在通信站内时,其高压电力线应采用电力电缆从地下进站,电缆长度不小于 200m,电力电缆与架空电力线连接处三根相线应加装氧化锌电涌保护器(SPD),电缆两端金属外护层应就近接地；
- n) 通信台站交流电力变压器高压侧的三根相线,应分别就近对地加装氧化锌电涌保护器,电力变压器低压侧三根相线应分别对地加装无间隙氧化锌电涌保护器,变压器的机壳、低压侧的交流零线,以及与变压器相连的电力电缆的金属外护层,应就近接地,出入站的所有电力线均应在出口处加装电涌保护器；
- o) 进入通信台站的低压电力电缆宜从地下引入机房,其长度不小于 50m(当变压器高压侧已采用电力电缆时,低压侧电力电缆长度不限),电力电缆在进入机房交屏处应加装电涌保护器,从屏内引出的零线不作重复接地；
- p) 通信台站供电设备的正常不带电的金属部分、电涌保护器的接地端,均应作保护接地,严禁作接零保护；
- q) 通信台站直流工作地,应从室内接地汇集线上就近引接,接地线截面积应满足最大负荷的要求,一般为 $35\text{mm}^2 \sim 95\text{mm}^2$,材料为多股铜线；
- r) 通信台站内交直流配电设备及电源自动倒换控制架,应先用机内有分级防雷措施的产品,即交流屏输入端、自动稳压稳流的控制电路,均应有防雷措施；
- s) 在市电油机转换屏(或交流稳压器)的输入端、交流配电屏输入端的三根相线及零线应分别对地加装电涌保护器,在整流器输入端、不间断电源设备输入端、通信用空调输入端均应按上述要求增装电涌保护器；
- t) 在直流配电屏输出端宜加电涌保护器；
- u) 电力变压器低侧第一级避雷器与第二级避雷器的距离不小于 10m,距离不小于 10m 的条件不能满足,可通过计算在第 2 级避雷器前端每根电源线及零线上串联一个适当的电感,电感按 $1.5\mu\text{H}/\text{m}$ 计算。

4.6.2 太阳电池、风力发电机组、市电混合供电系统防雷措施

太阳电池、风力发电机组、市电混合供电系统防雷措施如下：

- a) 装有太阳电池的机房顶平台,其女儿墙应设避雷带,太阳电池的金属支架应与避雷带至少在两个方向上可靠连通,太阳电池和机房应在避雷针的保护范围内;
- b) 太阳电池的输出馈线应采用具有金属护套的电缆线,其金属护套在进入机房入口处应就近与屋顶上的避雷带焊接连通;芯线应在进入机房前入口处对地就近安装相应电压等级的电涌保护器;
- c) 安装风力发电机组的无人站应安装独立的避雷针,且风力发电机和机房均应处于避雷针的保护范围内,避雷针的引下接地线、风力发电机的竖杆及拉线接地线应焊接在同一联合接地网上;
- d) 风力发电机的交流引下线应从金属竖杆里面引下,并在进入机房前入口处安装避雷器,防止感应雷进入机房;
- e) 有市电的无人站,电力线路和电源设备的防雷措施见 4.6.1。

4.7 通信电源系统防雷与接地

4.7.1 通信电源系统接地

通信电源系统接地要求如下:

- a) 通信电源的接地方式,应按联合接地的原理设计,即:通信设备的工作接地、保护接地、建筑物防雷接地共同用一组接地体的联合接地方式;
- b) 电力变压器高、低压侧避雷器的接地端、变压器铁壳、零线应就近接在一起再经引下线接地;
- c) 电力变压器在站内时,电力变压器地网与通信台站的联合地网妥善焊接连通;
- d) 直流电源工作接地应采用单点接地方式,并就近从接地汇集线上引入;
- e) 交、直流配电设备的机壳应单独从接地汇集线上引入保护接地,交流配电屏的中性线汇集排应与机架绝缘;
- f) 设有避雷线的高压电力线路杆塔的接地电阻应满足表 5 的要求;

表 5 电力线路杆塔的接地电阻

土壤电阻率 $\rho(\Omega\cdot m)$	接地电阻 Ω
$\rho \leq 100$	10
$100 < \rho \leq 500$	15
$500 < \rho \leq 1000$	20
$1000 < \rho \leq 2000$	25
$\rho > 2000$	30

注:当土壤电阻率超过 $2000\Omega\cdot m$,接地电阻很难降到 30Ω 时,可采用辐射式接地体的方式,将接地体延伸至土壤导电性较好的地方。

- g) 微波站架空高压电力线上方的避雷线和高压避雷器的接地电阻,在首端(即进站端)应不大于 10Ω ,中间和末端应不大于 30Ω ,如果达不到要求,应采取降阻措施;
- h) 当电力变压器设在通信台站外且设置独立地网时,总容量大于 $100kVA$ 的变压器,其接地装置接地电阻不应大于 10Ω ,当电力变压器与通信台站共用同一联合地网时,其接地电阻应满足表 6 的要求;
- i) 当电力变压器设在通信大楼外,且相距大于 $50m$ 时,交流中性线在大楼入口处应做重复接地,重复接地装置的接地电阻不应大于 10Ω ;
- j) 电涌保护器应就近接地,接地引线应尽可能短,避雷器的接地体宜设计成辐射形或环形。

表 6 通信台站联合地网的接地电阻

适用范围	接地电阻 Ω
综合楼、汇接局、万门以上程控交换局、2000 路以上的长话局	1
2000 门以上、万门以下的程控交换局和 2000 路以下的长话局	3
2000 门以下的程控交换局、光终端站、载波增音站、卫星地球站、微波枢纽站、移动通信站	5
移动通信基站、微波中继站、光中继站、小型卫星地球站	10
微波无源中继站	20

4.7.2 通信电源系统综合防雷

通信电源系统的防雷是一个系统工程,除电源系统自身的防雷措施应相互协调外,还应与通信线路和通信设备的防雷、建筑物的防雷、通信台站的接地设计相互协调配合,同时还要兼顾通信系统的电磁兼容设计要求。

4.8 避雷器的选择

避雷器的选择要求如下:

- 避雷器的选择原则可参照中华人民共和国机械行业标准 JB/T 5894 执行;
- 可以采用经技术鉴定合格的、并经实践证明行之有效的其他类型的避雷器;
- 通信台站对加在电源系统上的避雷器直流参考电压要求见表 7;
- 避雷器参数的选择可参照国标 GB 11032—1989 中的规定;
- 雷电活动特别强烈地区,系统电压为 10kV 时,配电避雷器应执行国标 GB 11032—1989 附录 D 的规定。

表 7 电源系统上的避雷器直流参考电压要求

电压 V	220	380	10000
直流 1mA 参考电压 V	600	1200	23000

4.9 避雷器的残压要求

避雷器的残压要求见表 8。

表 8 避雷器的残压

类别	设备名称	额定电压 V	避雷器残压峰值要求值 kV
1	电力变压器输入端	1000	$\leq 45(1)$
		6600	$\leq 27(1)$
	交流稳压器输入端	220/380	$\leq 2.6(2)$
2	市电油机转换屏输入端	220/380	$\leq 1.3(2)$
	交流配电屏输入端		
	低压配电屏输入端		
3	速流器输入端	220/380	$\leq 1.3(2)$
	交流不间断电源输入端		

注:(1)标称放电电流为 5kA 等级;(2)标称放电电流为 1.5kA 等级。

4.10 通信开关电源的雷电过电压保护

4.10.1 通信开关电源易遭雷害的原因

通信开关电源的典型构成及其输入/输出接口,由交流配电、高频整流、直流配电和本机监控 4 个单元组成,其基本功能是向交换、传输、载波或移动通信设备等提供安全可靠的直流基本电源。复杂多样的监控功能和用高频 DC/DC 变换器取代了相控整流器,使通信开关电源内部含有大量的耐受能量更低的先进电子元器件,它们极大地降低了通信开关电源承受雷电过电压的能力。

4.10.1.1 雷电电磁脉冲辐射的影响

从电磁兼容角度,通信开关电源内被保护电路属于感应防雷区。它不可能遭直击雷,在机房的通信开关电源都要良好的屏蔽,达到雷电电磁脉冲辐射的防护。

4.10.1.2 雷电过电压侵入的途径

通信开关电源的所有 I/O 端口,包括交流输入线、交流输出线、数据传输线、接地线、直流输出线和蓄电池电源线,都可能成为雷电过电压的通道。接地线传导雷电过电压,主要是地电位反击和分开接地时的地电位差,进行防雷等电位连接可以消除。直流输出线和蓄电池电源线,室内合理布线,可以不再增加其它保护措施。

4.10.2 通信开关电源的雷电过电压保护设计

利用电涌保护器的非线性伏安特性,旁路雷电流,绝缘设计,保护电路免遭雷电过电压损坏。保护地、防雷地、直流工作地要合理。

4.11 通信台站变电所防雷保护

变电所防雷保护是一个系统工程,其防护系统是由如下三道防线组成:

- a) 第一道防线的作用是防止雷击变电所电力设备,是接闪、引流、接地散流防护系统,接闪器有避雷针(线);
- b) 第二道防线是进线保护段,雷击进线时,绝大部分雷电流被引入地中,很小部分雷电流沿架空线路导线上侵入变电所,要求避雷线具有很好屏蔽和较高耐雷水平,进线保护段愈短愈好;
- c) 第三道防线是将侵入变电所雷电波降低致电气装置绝缘强度允许值,主要采用金属氧化物避雷器(MOA);
- d) 变压器绕组各侧防耐雷可靠性应一致。

5 通信台站防雷与接地

5.1 通信台站设施防雷

通信台站设施防雷要求如下:

- a) 防止通信台站设施遭受雷击,确保通信台站内设备的安全和正常工作,确保站内人员的安全;
- b) 新建通信台站与接地设计,改建、扩建通信台站的防雷与接地设计,综合通信楼内通信台站的接地设计应严格防雷措施;
- c) 其地网应根据现场环境条件的可能进行布设,但机房的工作接地、保护接地、建筑防雷接地应共用同一个地网;
- d) 通信台站的防雷与接地设计应本着综合治理、全方位系统防护的原则,统筹设计、统筹施工,以确保工程质量,切实做到安全可靠;
- e) 通信台站的防雷与接地工程设计中应采用有理论依据、经实践证明行之有效、并经主管部门鉴定合格的产品。

5.2 通信台站设施的防雷接地

5.2.1 铁塔的防雷与接地

铁塔的防雷与接地要求如下:

- a) 通信台站铁塔应有完善的防直击雷及二次感应雷的防雷装置;

- b) 通信台站铁塔宜采用太阳能塔灯,对于使用交流电供电的航空标志灯,其电源线应采用具有金属外护层的电缆,电缆的金属外护层应在塔顶及进机房入口处的外侧就近接地,塔灯控制线及电源线的每根相线均应在机房入口处分别对地加装保护器,零线应直接接地。

5.2.2 铁塔地网的组成

铁塔地网的组成要求如下:

- a) 当通信铁塔位于机房旁边时,铁塔地网应延伸到塔四脚外 1.5m 远的范围,网格尺寸不应大于 $3\text{m} \times 3\text{m}$,其周边为封闭式,同时还要利用塔基地桩内两根以上主钢筋作为铁塔地网的垂直接地体,铁塔地网与机房地网之间应每隔 $3\text{m} \sim 5\text{m}$ 相互焊接连通一次,连接点不应少于两点,当通信铁塔位于机房屋顶时,铁塔四脚应与楼顶避雷带就近不少于四处焊接连通,同时宜在机房地网四角设置辐射式接地体,以利雷电流散流;
- b) 机房工作地、保护地、铁塔防雷地三者应共用地网,且要求铁塔与建筑物连通(含地下、楼顶),有困难时应确保楼顶避雷带与铁塔地网连通,对于地处多雷区(年雷暴日大于 20d 以上)通信台站设防雷地网,在地下、地面上多点(两点以上)焊接连通,以确保安全;
- c) 对于在通信楼旁设的铁塔,其地网应与机房地网共同组成一个沿楼房四周封闭式的地网,机房工作地可直接从通信楼所设接地汇集线上引入;若楼房四周部分地段难以在地下敷设接地体时,可以因地制宜走墙根或走浅槽过渡到可以入地地段再入地,从而形成沿楼房四周的封闭环形接地装置,同时铁塔上端仍应与楼顶避雷带不少于两处焊接连通,以确保安全。

5.2.3 天馈线系统的防雷与接地

天馈线系统的防雷与接地要求如下:

- a) 通信台站铁塔应在接闪器的保护范围内,接闪器应设置专用雷电流引下线,材料宜采用镀锌扁钢;
- b) 同轴电缆馈线的金属外护层,应在上部、下部和经走线架进机房入口处就近接地,在机房入口处的接地应就近与地网引出的接地线妥善连通,当铁塔高度大于或等于 60m 时,同轴电缆馈线的金属外护层还应在铁塔中部增加一处接地;
- c) 同轴电缆馈线进入机房后与通信设备连接处应接装馈线保护器,以防来自天馈线引入的感应雷,馈线保护器接地端子应就近引接到室外馈线入口处接地线上,选择馈线保护器时应考虑阻抗、衰耗、工作频段等指标与通信设备相适应。

5.2.4 信号线路的防雷与接地

信号线路的防雷与接地要求如下:

- a) 信号电缆应由地下进出通信台站,电缆内芯线在进站处应加装相应的信号保护器,保护器和电缆内的空线对均应作保护接地,站区内严禁布放架空缆线;
- b) 对于地处年雷暴日大于 20d、大地电阻率大于 $100\Omega \cdot \text{m}$ 地区的新建信号电缆,宜采取在电缆上方布放排线或采用有金属外护套的电缆,亦可采用光缆,以防雷击。

5.2.5 其他设施的防雷与接地

其他设施的防雷与接地要求如下:

- a) 通信台站的建筑物应有完善的防直击雷及抑制二次感应雷的防雷装置(避雷网、避雷带和接闪器等);
- b) 机房顶部的各种金属设施,均应分别与屋顶避雷带就近连通,机房屋顶的彩灯应安装在避雷带下方;
- c) 机房内走线架、吊挂铁架、机架或机壳、金属通风管道、金属门窗等均应作保护接地,保护接地引线一般宜采用截面积不小于 35mm^2 的多股铜导线。

5.3 通信台站的联合接地系统

5.3.1 地网的组成

要求如下:

- a) 通信台站应按均压、等电位的原理,将工作地、保护地和防雷地组成一个联合接地网,站内各类接地线应从接地汇集线或接地网上分别引入;
- b) 通信台站地网由机房地网、铁塔地网和变压器地网组成,基站地网应充分利用机房建筑物的基础(含地桩)、铁塔基础内的主钢筋和地下金属设施作为接地体的一部分,当铁塔设在机房房顶,电力变压器设在机房楼内时,其地网可合用机房地网。

5.3.2 机房地网组成

要求如下:

- a) 机房地网应沿机房建筑物外设环形接地装置,同时还应利用机房建筑物基础横竖梁内两根以上主钢筋共同组成机房地网,当建筑物基础有地桩时,应将地桩内两根以上主钢筋与机房地网焊接连通,当机房设有防静电地板时,应在地板下围绕机房敷设闭合的环形接地线,作为地板金属支架的接地引线排,其材料为铜导线,截面面积不小于 50mm^2 ,并从接地汇集线上引出不少于二根截面面积 $50\text{mm}^2\sim 75\text{mm}^2$ 的铜质接地线与引线排的南、北或东、西侧连通;
- b) 机房应设防雷接地网或其他专用地网,并就近再设一组地网,三者相互在地下焊接连通,有困难时也可在地面上可见部分焊接成一体作为机房地网,应因地制宜就近设一组地网作为机房工作地、保护地和铁塔防雷地,工作地及防雷地在地网上的引接点相互距离不小于 5m 。

5.3.3 变压器地网的组成

当电力变压器设置在机房内时,其地网可合用机房及铁塔地网组成的联合地网;当电力变压器设置在机房外,且距机房地网边缘 30m 以内时,变压器地网与机房地网或铁塔地网之间,应每隔 $3\text{m}\sim 5\text{m}$ 相互焊接连通一次(至少有两处连通),以相互组成一个周连封闭的地网。

5.3.4 地网接地电阻值要求

当地网的接地电阻值达不到要求时,可扩大地网的面积,即在地网外围增设1圈或2圈环形接地装置。环形接地装置由水平接地体和垂直接地体组成,水平接地体周边为封闭式,水平接地体与地网宜在同一水平线上,环形接地装置与地网之间以及环形接地装置之间应每隔 $3\text{m}\sim 5\text{m}$ 相互焊接连通一次;也可在铁塔四角设置辐射式延伸接地体,延伸接地体的长度宜限制在 $10\text{m}\sim 30\text{m}$ 以内。

5.3.5 接地体

接地体要求如下:

- a) 接地体宜采用热镀锌钢材,其规格要求如下:
 - 1) 钢管直径 50mm ,壁厚不应小于 3.5mm ;
 - 2) 角钢不应小于 $50\text{mm}\times 50\text{mm}\times 5\text{mm}$;
 - 3) 扁钢不应小于 $40\text{mm}\times 4\text{mm}$ 。
- b) 垂直接地体长度宜为 $1.5\text{m}\sim 2.5\text{m}$,垂直接地体间距为其自身长度的 1.5 倍 ~ 2 倍。若遇到土壤电阻率不均匀的地方,可以适当加长,当垂直接地体埋设有困难时,可设多根环形水平接地体,彼此间隔为 $1\text{m}\sim 1.5\text{m}$,且应每隔 $3\text{m}\sim 5\text{m}$ 相互焊接连通一次;
- c) 在沿海盐碱腐蚀性较强的地区,接地体宜采用具有耐腐蚀导电性能好的硅橡胶等非金属材料;
- d) 接地体之间所有焊接点,除浇注在混凝土中的以外,均应进行防腐处理,接地装置的焊接长度:扁钢为宽边的 2 倍,圆钢为其直径的 10 倍;
- e) 接地体的上端距地面不应小于 0.7m ,在寒冷地区,接地体应埋设在冻土层以下,在水位较高的地区,接地体最好穿透到已知的水位上,以利用饱和区的水源;接地体之间所有的连接点均应进行搭焊接,焊接点(浇灌在混凝土中的除外)应进行防腐处理;
- f) 对土壤电阻率高的地区,当一般做法的接地电阻值难于满足要求时,可采取向外延伸接地体、改善土壤的传导性能、深埋电极、以及外引等方式;

- g) 通信机房建筑应有防直击雷的接地保护措施,在房顶上应敷设闭合均压网(带)并与接地网连接,房顶平面任一点到均压带的距离均不应大于 5m;
- h) 通信机房内,应围绕机房敷设环形接地母线(简称环母线),环形接地母线一般应采用截面不小于 90mm^2 的铜排或 120mm^2 的镀锌扁钢,在机房外,应围绕机房建筑敷设闭合环形接地网,机房环形接地母线及接地网和房顶闭合均压带间,至少应用 4 条对称布置的连接线(或主钢筋)相连,相邻连接线间的距离不宜超过 18m;
- i) 机房内各种电缆的金属外皮、设备的金属外壳和框架、进风道、水管等不带电金属部分、门窗等建筑物金属结构以及保护接地、工作接地等,应以最短距离与环形接地母线连接,采用螺栓连接的部位可用含银环氧树脂导电胶粘合;
- j) 各类设备保护地线宜用多股铜导线,其截面一般为 $25\text{mm}^2 \sim 95\text{mm}^2$;导线屏蔽层的接地线截面面积,应大于屏蔽层截面面积的 2 倍,接地线的连接应确保电气接触良好,连接点应进行防腐处理;
- k) 金属管道引入室内前应水平直埋 10m 以上,埋深应大于 0.6m,并在入口处接入接地网,如不能埋入地中,至少应在金属管道室外部分沿长度均匀分布在两处接地,接地电阻小于 10Ω ,在高土壤电阻率地区,每处接地电阻不大于 30Ω ,并适当增加接地处数;
- l) 引入机房的电缆空线对,应在配线架上接地,以防引入的雷电在开路导线末端产生反击;
- m) 电缆沟道、竖井内的金属支架至少应两点接地,接地点间距离不应大于 30m。

5.3.6 接地线和接地引入线

接地线和接地引入线要求如下:

- a) 接地线宜短直,截面积为 $35\text{mm}^2 \sim 95\text{mm}^2$,材料为多股铜线;
- b) 接地引入线长度不宜超过 30m,其材料为镀锌扁钢,截面积不宜小于 $40\text{mm} \times 4\text{mm}$ 或不少于 95mm^2 的多股铜线。接地引入线做防腐、绝缘处理,并不得在暖气地沟内布放,埋设时应避开污水管道和水沟,裸露在地面以上部分,应有防止机械损伤的措施;
- c) 接地引入线由地网中心部位就近引出与机房内接地汇集线连通,对于新建站不应少于两根。

5.3.7 接地汇集线

接地汇集线要求如下:

- a) 接地汇集线一般设计成环形或排状,材料为铜材,截面积不应小于 120mm^2 ,也可采用相同电阻值的镀锌扁钢;
- b) 机房内的接地汇集线可安装在地槽内、墙面或走线架上,接地汇集线应与建筑钢筋保持绝缘。

5.4 接地电阻

接地电阻要求如下:

- a) 通信台站地网的接地电阻值应小于 5Ω ,对于年雷暴日小于 20d 的地区,接地电阻值可小于 10Ω ;
- b) 架空电力线与电力电缆接口处的保护接地以及电力变压器(100kVA 以下)保护接地的接地电阻值应小于 10Ω ;
- c) 架空电力线上方的避雷线及增装在高压线上的避雷器的接地电阻值,其首端(即进站端)应小于 10Ω ,中间或末端应小于 30Ω ;
- d) 通信设施保护地线连接要求;
- e) 通信设施保护地线除在地网处或者在地线总汇流排处进行有效连接外,通信设备保护地线应尽量避免在第二点与大楼主钢筋、避雷设备引下线或者位于建筑物外部的通信设备地线相连接;
- f) 通信设施保护地线除在地网处或者在地线总汇流排处进行有效连接外,如果通信设施保护地线未在地网处或者在地线总汇流排处进行有效连接,可将通信设施地线与通信电缆在同一线槽或相邻线槽中布放,以减小通信线路受感应影响的回路面积,降低通信线路感应电压幅值。

5.5 防雷措施

5.5.1 接地与均压

接地与均压要求如下：

- a) 接地电阻越小过电压值越低,在经济合理的前提下应尽可能降低接地电阻；
- b) 通信综合楼内的通信设施、建筑物避雷装置共用一个接地网,大楼及通信机房接地引下线可利用建筑物主体钢筋,钢筋自身上、下连接点应采用搭焊接,且其上端应与房顶避雷装置、下端应与接地网、中间应与各层均压网或环形接地母线焊接成电气上连通的笼式接地系统。

5.5.2 通信机房及调度通信综合楼的屏蔽

通信机房及调度通信综合楼的屏蔽要求如下：

- a) 为减少外界雷电电磁干扰,通信机房及调度通信综合楼的建筑钢筋、金属地板构架等均应相互焊接,形成等电位笼。如设备对屏蔽有较高要求时,机房六面应敷设金属屏蔽网,屏蔽网应与机房内环形接地母线均匀多点相连；
- b) 架空电力线由站内终端杆引下后应更换为屏蔽电缆,进入室内前应水平直埋 10m 以上,埋地深度应大于 0.6m,屏蔽层两端接地,非屏蔽电缆应穿镀锌铁管并水平直埋 10m 以上,铁管两端应接地；
- c) 室外通信电缆应采用屏蔽电缆,屏蔽层两端应接地,对于既有铠带又有屏蔽层的电缆,在机房内应将铠带和屏蔽层同时接地,而在另一端只将屏蔽层接地；电缆进入室内前应水平直埋 10m 以上,埋地深度应大于 0.6m；非屏蔽电缆应穿镀锌铁管水平直埋 10m 以上,铁管两端应接地；
- d) 机房内的电力电缆(线)、通信电缆(线)宜采用屏蔽电缆,或敷设在金属管内,屏蔽层或金属管两端应就近接地。

6 通信电缆、光缆、地线布放雷电防护设计要求

6.1 绝缘塑料外护层金属线电缆的综合保护设计要求

绝缘塑料外护层金属线电缆,即有金属导体的电缆(对称线对或同轴对)的防感应、防雷电、防腐蚀的综合保护需要考虑的准则如下：

- a) 金属护套；
- b) 足够绝缘强度的外护层；
- c) 金属护套接地；
- d) 使用屏蔽线。

6.2 通信光缆的雷电防护

6.2.1 无金属光缆

无金属光缆不需要采取防电力感应、雷击损伤和金属腐蚀的保护,安装在地下金属管道中的光缆要有防雷电措施。

6.2.2 缆心和护套中的金属部件

从保护的角度这种光缆与金属线电缆一样,可应用 6.1 所述的综合保护。在金属线对与挡潮层之间安装冲击避雷器,并将加强部件与挡潮层接在一起。使用含有金属部件但对雷电冲击电流有足够抗力的光缆,按 6.1 所指出的准则将金属护套接地,可对电力线路或牵引线路引起的感应提供足够的屏蔽作用。

6.2.3 无金属的缆心

无金属的缆心雷电防护要求如下：

- a) 在这种情况下,光缆只有一种金属部件,即护套；
- b) 选用耐雷电冲击电流能力较强的光缆或按 6.1 所提出的准则安装屏蔽线,可以达到防雷的目的；
- c) 在接头处使屏蔽层保持连续,并在中继器处作适当的接地,可以达到防感应的目的,在需要将屏

蔽层对地电压限制在极限值以下的地方,接头处也要接地;

- d) 另一种综合保护方案是同时使用安装屏蔽线,在每个接头处或在需要将屏蔽层对地感应电压值限制在极限值以下的中间地点,将金属屏蔽即防潮层断开。

6.3 基本保护措施

6.3.1 光缆中的金属部件沿光缆长度方向应是连续的,即所有接头及再生器处的金属部件应该接通。光缆终端的金属部件应直接接至等电位连接排或通过电涌保护器(SPD)接至等电位连接排。

6.3.2 对于没有使用金属导线来传送信号的光缆,可以取消个别金属部件,如铠装、防潮层或加强构件在接头处的互连。

6.3.3 对于有金属部件的光缆,通常考虑采取以下措施:

- a) 使用介质的或无金属的光缆;
- b) 选择地下埋设光缆和架空光缆的类型;
- c) 对地下埋设光缆使用屏蔽线;
- d) 金属护套沿路由接地(只对架空光缆);
- e) 对地下埋设光缆和架空光缆提供重复的路由;
- f) 用冲击避雷器保护地下埋设光缆和架空光缆中的金属线对;
- g) 在金属线对上使用冲击避雷器,进行过电压过电流防护;
- h) 对缆芯中含金属部件的地下埋设缆,不考虑金属护套沿路由接地,因为这种保护措施对减少重大故障次数的作用很小。

6.4 介质光缆或无金属光缆的雷电防护

6.4.1 使用介质光缆或无金属光缆将防止由雷电引起的光缆损坏。

6.4.2 光缆埋设应考虑到地下光缆的防潮气渗透能力较低的问题,尽量避免与金属电缆同一沟道。当无金属光缆附有金属导体(用于光缆定位)时加防雷措施。

6.4.3 光缆屏蔽保护的作用如下:

- a) 对地下埋设光缆使用屏蔽线,使用屏蔽线可以降低地下埋设光缆损坏的概率。屏蔽线能拦截一部分冲击电流,因而减少了雷击光缆的电流。屏蔽减缓冲击电流流入光缆护套。
- b) 雷电直击屏蔽线或金属的光缆护套时,两种导体间的电压将很大,使它们之间产生电弧,只有一部分雷电流流经光缆护套,降低了重大故障的概率。

6.5 通信电缆以及地线布放设计要求

通信电缆以及地线的布放要求如下:

- a) 通信电缆以及地线的布放应尽量集中在建筑物的中部,将通信电缆以及地线尽量布放在建筑物的中部可以有效降低因为电磁感应而在通信线路中产生的过高的感应电压;
- b) 通信电缆线槽以及地线线槽的布放应尽量避免紧靠建筑物立柱或横梁,避免沿建筑物立柱或横梁布放较长的距离,通信电缆线槽以及地线线槽的设计应尽可能位于距离建筑物立柱或横梁较远的位置。

6.6 通信电缆屏蔽要求

通信电缆屏蔽要求如下:

- a) 对通信电缆回路实施良好的屏蔽是当雷击发生时减小信号线与地之间感应电压幅值的有效措施;
- b) 屏蔽套管或屏蔽槽的两端均应接地,并且两接地端应就近与设备机壳或设备地线排可靠连接,接地连接线的布放应尽量紧靠通信电缆,接地端应尽量靠近通信电缆与设备的连接端口。

7 通信信息系统有效雷电防护设计要求

7.1 直接雷击对信息系统瞬态耦合的防护

可通过接地、等电位连接、屏蔽和金属导线的路线或布置以对电阻耦合、磁场耦合、电场耦合起抑制作用。

7.2 防雷保护系统

组成雷电防护的外部防雷、内部防雷和过电压保护三大部分是相互配合,各行其责,缺一不可的。见图1所示。

7.2.1 外部防雷

外部防雷主要是指建(构)筑物的直击雷防护,起到分流50%的作用。

7.2.2 内部防雷

内部防雷指对雷电波侵入的防护,其技术措施可分为屏蔽措施、均压等电位措施和防闪络措施三部分。

7.2.2.1 屏蔽措施

屏蔽是利用各种金属屏蔽体来阻挡和衰减电磁干扰或过电压能量,具体可分为建筑物屏蔽、设备屏蔽和各种线缆(包含管道)的屏蔽。

7.2.2.2 建筑物的屏蔽

可利用建筑物的钢筋、金属构架、金属门窗、地板等均相互连接在一起,形成一个笼,并与地网有可靠的电气连接,形成初级屏蔽网。

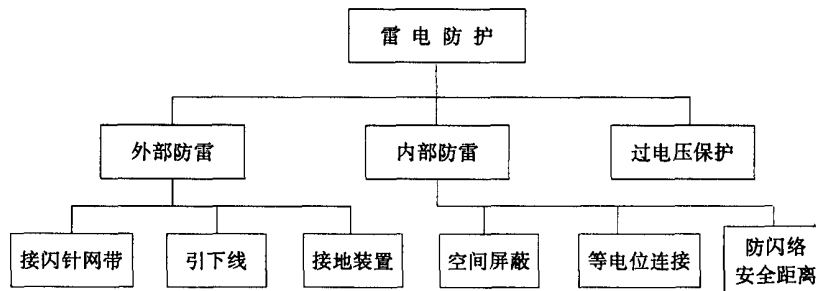


图1 防雷保护系统

7.2.2.3 屏蔽效果

屏蔽效果要求如下：

- 设备耐过电压水平的基础上,按 IEC 划分的防雷区(LPZ)施行多级屏蔽,屏蔽的效果首先取决于初级屏蔽网的衰减程度,其次取决于屏蔽层对于入射电磁波的反向损耗和吸收损耗程度,而这又取决于屏蔽层厚度(最好接近电磁波的波长)、网孔密度(密度越大则可靠程度越高)和屏蔽材料(低频时采用高导磁材料、高频时采用铜材,铝材为宜);
- 对各种“洞”的密封,除门、窗外,重点对入户的金属管道、通信线路,电力线缆入口作好屏蔽,各种母线均应采取屏蔽措施,金属丝编织网、金属软导管、硬导管均可用屏蔽线缆,屏蔽效果可用“转移阻抗”来表示,即利用流经金属外皮电流产生的电动势全部耦合到芯线上,芯线上这个逆向电动势可阻止雷电流沿芯线注入,这个反电动势相当于在芯线电路上串联了一个很大的电感,从而降低电线(缆)末端的芯线与外皮间的电位差,此外,雷电流的“趋肤效应”也可使相当大的一部分电流沿屏蔽层接地端口泄入大地;
- 使用金属丝编织网屏蔽电缆,重量轻,使用方便,在电磁波频率较高时,波长接近编织层网孔尺寸时,波的透入增加,最好再穿一层金属管;
- 光缆具有良好的防雷效果,但光缆的金属保护层或内部加固金属芯会减弱防雷效果,也要采取屏蔽措施,架空线缆也存在着直接雷击的问题,宜安装避雷线加以保护。

7.2.2.4 减少感应方面的要求

减少感应方面的要求如下：

- a) 外部屏蔽措施；
- b) 合适的路线；
- c) 线路屏蔽；
- d) 屏蔽管线接地；
- e) 电缆连接器屏蔽,这些要求应联合作用。

7.3 计算机系统雷电过电压防护

计算机系统雷电过电压防护要求如下：

- a) 保护计算机系统免遭雷电等过电压的危害,首先应防止雷电等过电压侵入计算机及其系统；
- b) 雷电等外来电磁干扰主要以辐射、电磁感应和传导的形式侵入计算机设备,表现有电的、磁的、静电的及电磁干扰等;辐射干扰比较容易防范,而经电源线、信号线及地线等侵入的传导性干扰较难防治,其中雷电过电压、电力系统操作过电压等对计算机设备的危害问题要重点防护；
- c) 抑制雷电冲击波通过电源线侵入系统,防止地线反击给系统造成危害;防止计算机应用系统、自动化系统通过电源线、通信线和地线三个环节与外界连接的电磁干扰侵入;防止对设备中脆弱的微电子器件造成危害。

7.4 计算机通信网络系统综合保护设计

7.4.1 计算机通信网络系统综合保护要求

计算机通信网络系统综合保护要求如下：

- a) 提高通信接口自身抗力；
- b) 为计算机通信接口、电源系统、通信接口加装防雷装置,为计算机通信系统提供有效的防雷保护；
- c) 合理的布线以及规范的接地是降低雷电可能引起危害程度极其有效的措施。

7.4.2 计算机通信网络、计算机局域网、通信接口防雷保护装置的要求

计算机通信网络、计算机局域网、通信接口防雷保护装置的要求如下：

- a) 抑制线路上可能感应的浪涌形式；
- b) 合理设计计算机接口电路模拟雷电冲击击穿电压临界指标；
- c) 合理设计计算机接口在正常工作状态下的数据信号电平；
- d) 合理设计计算机通信接口保护装置的模拟雷电冲击残压参数指标；
- e) 合理设计计算机通信接口保护装置的耐冲击能力；
- f) 使计算机通信接口保护装置不对计算机通信系统的正常运行造成不利影响。

7.4.3 计算机通信网络防雷保护装置的安装要求

计算机通信网络防雷保护装置的安装要求如下：

- a) 并联式防雷保护装置安装引线越粗短,保护效果越好；
- b) 当由于受到环境因素的限制,需要连接较长的防雷保护装置安装引线时,可采用多组引线并接的方式以减小线路电感,提高保护效果；
- c) 当冲击电流流过任何一对安装引线(例如:电源防雷保护装置中的相线与相线、相线与中性线、相线与保护地线或者中性线与保护地线)时,两线电流方向相反而产生相反方向的磁场,将所有安装引线扎在一起则会由于磁场的相互抵消,从而使保护得以提高。

7.4.4 计算机通信网络系统在建筑物内部的布线、屏蔽及接地要求

计算机通信网络系统在建筑物内部的布线、屏蔽及接地要求如下：

- a) 雷击建筑物或者邻近地区雷电放电所时,产生瞬变空间电磁场,在计算机通信网络接口处感应的瞬态过电压与感应源的电流变化率、通信电缆与感应源的间距、通信电缆长度、回路中各段线阻抗以及总回路面积有着直接的关系,应对建筑物内部计算机通信网络系统采取合理的布线、

屏蔽及接地来减轻雷击产生的瞬变空间电磁场对计算机通信网络系统的影响；

- b) 采用铁质框架或钢筋混凝土结构的建筑物,当框架结构的建筑物内部钢质框加工或钢筋混凝土结构在横向以及纵向相互绑扎或焊接要良好,使建筑物内部电气设备提供近似为接近理想化“屏蔽室”的环境,计算机通信设备与线路应尽量集中在建筑物的中部,建筑物外围引下导体越多效果越好,对计算机通信系统的防雷保护设计不仅取决于设备自身的抗力,而且取决通信线路的布放方式、屏蔽及接地的方式,另外,建筑物结构以及楼顶铁塔或避雷针的安装方式要合理；
- c) 要采取措施,避免雷击对计算机通信线路的空间电磁感应,特别避免雷击建筑物或者邻近地区雷电放电产生强大的瞬变空间电磁场,避免通信接口电路(或者其接口芯片)自身超过所能承受的最大冲击,造成通信接口设备的损坏；
- d) 高层综合通信大楼受到雷电冲击时,通信大楼内冲击电位分布和空间瞬时电磁场将关系到建筑物内人身和设备的安全,首先采取措施避免冲击电流沿着缆线进入设备;其次避免雷击引起电位升高对通信设备产生影响,作为现代数字化通信设备的控制计算机,对雷电极敏感,即使几公里以外的高空雷闪或对地雷闪,都有可能导导致这些通信设备的薄弱环节计算机 CPU 控制中心的误动或损坏,要严格防雷措施；
- e) 对雷击敏感的计算机控制单元及数字终端设备,它们在通信大楼里一定要有合理的布局,有效地减少雷害;通信大楼采用联合接地可有效地解决地电位升的影响;在通信大楼内计算机、控制终端、监控系统、终端设备的接口处安装过电压保护装置,并对通信台站出入缆线采取屏蔽、接地等措施,可有效减少雷电对信号及网络系统的侵害;防止冲击电流(LEMP)沿着缆线进入设备,加强信号及数据线网络接口的 LEMP 防护。

7.5 计算机通信信号数据线雷电过电压保护要求

通信计算机设备防雷都是以防止雷电侵入波沿局外线侵入为主,通信设备的电子化、高度集成化、微型计算机控制、智能化、数字通信技术的发展,通信系统对脉冲较为敏感电路的雷电承受能力下降,特别是通信大楼内计算机、控制终端、监控系统、终端设备更易遭受雷电的侵害,要完善对感应雷及弱电的保护措施。

7.5.1 综合通信网络设备数据线保护要求

在综合通信大楼内,集中了交换机、传输设备、监控及网络设备、控制终端、电源、无线等系统,各系统之间的内部连接线路纵横交错、非常复杂,连接线路可达 100m~200m。这些连接线路因雷电电磁场的感应,将雷电脉冲传到系统之间接口的电路中去,对脉冲较为敏感的接口电路产生影响和冲击,站内部接口的连接线类型较多,有屏蔽线和非屏蔽线,也有对称线和非对称线,这些线缆物理结构上的差异,对雷电电磁场感应影响的大小也有所不同,应具有更好的通信系统接口及网络数据线雷电过电压保护设计,应根据其在站内具体的雷电保护区位置、保护等级,确定 SPD 的保护参数。

7.5.2 城市地处中雷区以上的通信计算机网络设备保护

城市地处中雷区以上的通信计算机网络设备保护要求如下：

- a) 建在城市,地处中雷区以上的通信计算机、控制终端及各类网络数据线,若长度小于 50m,各类网络数据线宜穿金属管道(金属管道连接处应有可靠的电气连接),金属管两端应就近与均压网焊接；
- b) 建在城市,地处中雷区以上的通信计算机、控制终端及各类网络数据线,若长度大于 50m,不大于 100m,应在设备的一端采用数据线 SPD 保护;若长度大于 100m,应在两端采用数据线 SPD 保护。

7.5.3 郊区或山区地处多雷区、强雷区的通信计算机网络设备保护

建在郊区或山区,地处多雷区、强雷区的通信计算机、控制终端及各类网络数据线,若长度大于 30m、不大于 50m,应在设备的一端采用数据线 SPD 保护;若长度大于 50m,应在两端采用数据线 SPD 保护。

7.5.4 地处多雷区的通信设施,有出入网络数据线的设备的雷电过电压保护设计

地处多雷区的通信设施,有出入网络数据线的设备的雷电过电压保护设计应采取下列措施:

- a) 控制及数据采集用的计算机接口应采用计算机接口 SPD 保护;
- b) 在局域网工作站的输入端及文件服务器前应采用数据线 SPD;
- c) 出入站的各种金属数据线两端设备应采用数据线 SPD 保护。

7.6 通信信号线及程控交换机的雷电过电压保护设计

7.6.1 程控交换机雷电过电压保护设计

根据过电压和过电流防护要求和电磁兼容的基本原理,配线架与程控交换机用户板过电压和过电流防护的关系应是相辅相成的,作为出入通信市话电缆,是雷电过电压和用户线受到电力线暂态强脉冲感应而引入过电流的主要原因,由于配线架与程控交换机用户板都具备抗击雷电过电压和过电流的能力,作为第一级配线架的保安单元与第二级程控交换机用户板的保护电路之间有一个协调的关系,第一级用于一次保护的元件与第二级用于二次保护的元件作用不同,要分类选择。

7.6.2 程控交换站防雷措施

根据雷电活动区的划分,各类保安单元的应用条件,对总配线架应就近接地和缆线进行雷电过电压保护,从程控交换局防雷的角度出发,应考虑以下措施:

- a) 进台站电缆应从地下入台站;
- b) 进台站电缆的金属外护套,应在通信台站进线室内就近接地或与地网连接后再入台站;
- c) 进台站电缆的信号线均应对地加装 SPD 后,再接入通信设备,电缆内的空线对应做保护接地;
- d) 地处少雷区、中雷区的市话交换站总配线架,可采用由气体放电管或半导体放电管(SAD)与正温度系数热敏电阻(PIC)组成的保安单元;
- e) 地处多雷区和强雷区的市话交换站总配线架,应采用由半导体放电管高分子 PIC 组成的保安单元;
- f) 地处少雷区、中雷区的市话交换站,根据历年雷击统计,若交换机用户板时有雷击事故发生,总配线架对保安单元选取的雷区分类可按向上提高一级原则执行;地处多雷区和强雷区的市话交换台站总配线架,根据历年雷击统计,若交换机用户板雷击事故仅偶有发生,总配线架对保安单元选取的雷区分类可按向下降低一级的原则执行;
- g) 总配线架应就近接地是关系到配线架的保安单元能否对交换机用户板起到有效保护的关键问题,在通信机房总体规划时,总配线架宜安装在一楼进线室附近,接地引入线应从地网两个方向就近分别引入(从地网地建筑物预留的接地端子接地或从接地汇集线上引入);
- h) 市话电缆空线对应应在配线架上接地。

7.6.3 雷电过电压和工频过电流防护的要求

作为雷电过电压和工频过电流防护的原则,第一级保护元件要承受雷电过电压和工频过电流的主要能量,第二级保护元件则承受经过第一级保护后剩余的能量,第一级是粗保护,元件需承受较大的能量,因为元件选择问题,所以元件参数动作响应时间可能较慢;第二级是精细保护,承受的能量较小,元件参数动作响应时间可以较快。

7.7 通信传输设备的雷电过电压保护设计

出入通信站的电缆及光缆按通信台站的标准进行接地处理,进站的数字脉冲调制(PCM)电缆芯线加装保安单元,特别是进入无线通信台站的缆线加装保安单元,使 PCM 接口、PCM 逻辑盘、话路板以及 2Mbit/s 接口减少雷击事故。对进出通信站的缆要求如下:

- a) 出入通信站的电缆,应在进线室将金属铠装外护层做接地处理;
- b) 出入通信站的光缆,应将缆内的金属构件在终端处接地;
- c) 进入通信站的 PCM 电缆芯线应加装保安单元,空线对应就近接地;
- d) 进入无线通信站的缆线应加装保安单元后,再与上下话路的终端设备相连。

7.8 无线通信系统天馈线的雷电过电压保护设计

无线通信系统天馈线的雷电过电压保护设计要求如下：

- a) 铁塔上架设的无线通信系统馈线、同轴电缆金属外护层应在天线侧及沿塔引下的下端与塔连接,在进入机房入口处外侧就近接地,经走线架上塔的馈线及同轴电缆,其屏蔽层应在其转弯处上方 0.5m~1m 范围内做良好接地,当馈线及同轴电缆长度大于 60m 时,其屏蔽层宜在塔的中间部位增加一个与塔身的接地连接点,室外走线架始末两端均应和接地线、避雷带或地网连接;
- b) 建在城市内孤立的高大建筑物或建在郊区及山区地处中雷区以上的无线通信站,当馈线采用同轴电缆,同轴电缆长度超过 30m,应在同轴电缆引进机房入口处安装标称放电电流不小于 5kA 的同轴 SPD,同轴 SPD 接地端子的接地引线应从天馈线入口处外侧的接地线、避雷带或地网引接。

7.9 通信遥控、监控系统雷电过电压保护设计

通信遥控、监控系统雷电过电压保护设计要求如下：

- a) 出入站的遥控、监控系统控制线应埋地,线缆的金属外护套两端应就近接地;
- b) 建在中雷区以上的通信站,其内部的遥控、监控系统的缆线(缆线中含控制线、电源线、视频线),若长度大于 50m,不大于 100m,应在设备的一端采用 SPD 保护;若长度大于 100m,应在两端采用 SPD 保护。对于出入通信台站的遥控、监控系统的缆线(缆线中含控制线、电源线、视频线),应在两端分别安装 SPD 保护;
- c) 出入通信站遥控、监控系统的缆线若采用光缆传输信号,应将缆内的金属构件,在两端接地,无需采用 SPD 保护;但为两端设备供电的电源芯线应对地安装标称导通电压大于供电电压最大值 10V,标称放电电流为 10kA 的过压型 SPD;
- d) 监控信号采集器的遥信输入端应加装由 SAD 组成的数据线 SPD;
- e) 监控系统的防雨罩应就近接地。

7.10 一般 SPD 的选择

一般 SPD 的选择要求如下：

- a) SPD 标称导通电压,各类信号线、数据线、天馈线、计算机网络接口的 SPD 标称导通电压 $U_n \geq 1.2U$ (U 为工作电压);
- b) 各类 SPD 用元器件,各类信号线、数据线、天馈线、计算机网络接口的 SPD 元器件一般可有陶瓷放电管、半导体放电管(SAD)、氧化锌压敏电阻(MOV)、PTC 等元器件组成;在满足信号传输速率及带宽的情况下,尽可能采用半导体放电管;
- c) 半导体放电管有对脉冲电压的响应速度快,对陡峭的雷击电压可以充分抑制,使原来的保护单元多级保护设计变得简单,小型化,使用保养简单,寿命长,用硅半导体放电管,其双向、单向、开关动作均能自由地精确地设计出来,一致性较好;
- d) 半导体放电管既适用于普通电话 300Hz~3400Hz 的模拟传输,也适用于综合业务数字网 U 接口的数字传输;
- e) 配线架采用放电管作为雷电的过电压保护器件,程控交换机内部使用的器件要求具备高速率、宽频带、可靠等特点,采用固体半导体放电管取代现有气体放电管保护程控交换机和用户终端设备防雷的理想器件。

7.11 信号线 SPD 的选择

信号线 SPD 的选择要求如下：

- a) 信号线 SPD 的箝位电压应满足通信设备接口的需要,对雷电响应时间应在纳秒级;
- b) 信号线 SPD 应满足信号传输速率及带宽的需要,其接口应与被保护设备兼容;
- c) 信号线 SPD 的插入损耗应满足通信系统的要求;
- d) 信号线 SPD 的标称放电电流不小于 3kA。

7.12 同轴 SPD 的选择

同轴 SPD 的选择要求如下:

- a) 同轴 SPD 插入损耗不大于 0.2dB,驻波比不大于 1.2,同轴 SPD 最大输入功率能满足发射机最大输出功率的要求,安装与接地方便,具有不同的接头,同轴 SPD 与同轴电缆接口应具备防水能力;
- b) 同轴 SPD 的标称放电电流不小于 5kA。

7.13 计算机、控制终端、监控系统的网络数据线 SPD 的选择

计算机、控制终端、监控系统的网络数据线 SPD 的选择要求如下:

- a) 计算机、控制终端、监控系统网络数据线用的雷电过电压保护器件有 RJ45、RJ11、RS232、RS422、RS485 接口及同轴型数据线 SPD 等,其中 RJ 系列的 SPD 有单端口和多端口的产品,其 SPD 的工作电压和传输速率可供选择;
- b) 计算机接口、控制终端、监控系统的网络数据线 SPD 应满足各类接口设备传输速度的要求,SPD 接口的线位、线排、线序应与被保护设备接口兼容,设计时应在满足设备传输速率条件下,优先采用半导体放电管组成的保护电路 SPD;
- c) 计算机接口、控制终端、监控系统的网络数据线 SPD 的标称放电电流不小于 3kA。

7.14 信号系统的 SPD 的选择

信息系统的信号源主要有:电话线、各种计量传感器、天线、卫星通信和计算机网络等,它们通过电话线、电缆线或光缆进入信息系统,除需作外部防雷和内部防雷外,在其设备和线缆上需加装 SPD,进行过电压保护,因设备的技术参数和干扰限值(允许值)各异,有些只需做初级保护,有些尚需加设精细保护,选择 SPD 的要求如下:

- a) 一个合格的 SPD 不能对系统的传输造成任何不允许的干扰和中断现象;
- b) SPD 在瞬态过程结束后,器件能迅速恢复正常工作;
- c) 反应速度应高于干扰脉冲的速度;
- d) 应有显示和遥测功能;
- e) 在爆炸危险场所,SPD 应使用防爆型产品。

7.15 综合通信大楼内部通信信息系统雷电防护

综合通信大楼内部通信信息系统雷电防护要求如下:

- a) 综合通信大楼内部的通信系统包含了程控交换机、传输设备、监控及网络设备、控制终端、电源、无线等子系统,各子系统之间的内部连接线路纵横交错、非常复杂,其网络接口对雷电较为敏感的电路又是雷电侵入导致故障的薄弱环节,通信大楼雷电电磁场的分布直接影响到具有敏感元器件的计算机及控制终端的布局,在设计规划时,通信大楼内的计算机控制中心及控制单元的安装位置应避开雷电脉冲集中的雷电流分布通道,通常尽量安装在建筑物的中部位置,并且计算机避免直接使用通信大楼的外墙体的电源插孔;
- b) 通信信息系统的雷电过电压保护是建立在通信大楼的接地系统共用一个接地网,采用 SPD(正确选用各类 SPD)对侵入,对雷电过电压进行抑制,对通信信息系统出入缆线采取屏蔽、塔接、接地等措施,有效减少雷电对信号及网络系统的侵害。

7.16 通信信息系统的等电位连接

对信息系统的外露导电部分应建立等电位连接网络,原则上一个等电位连接网络不需要连到大地,但通常所考虑的所有等电位连接网络都会有通大地的连接。通信信息系统的等电位连接的要求如下:

- a) 建筑物的共用接地系统包括外部防雷装置(LPS),为实现一个低电感和网状接地系统,金属装置的等电位连接也加入共用接地系统;
- b) 对信息系统的外露导电物应建立等电位连接网;
- c) 信息系统的各金属组件(如各种箱体、壳体、机架)与建筑物的共用接地系统的等电位连接的原则方法,应采用下列等电位连接网的两种基本形式之一:

- 1) S型 星形结构;
 - 2) M型 网型结构。
- d) 当采用S型等电位连接网时,该信息系统的所有金属组件,除等电位连接点外,应与共用接地系统的各组件有足够的绝缘;
 - e) 通常S型等电位连接网用于相对较小,限于局部的系统,在那里所有设施和电缆仅在一处进入该信息系统;
 - f) S型电位连接网应仅通过一点(即接地基准点)组合到共用接地系统中去形成Ss型,在此情况下,在设备的分项之间的所有线路和电缆应按照星形结构与各等电位连接线平行敷设,以避免产生感应环路;采用一点进行等电位连接,做等电位连接的一点接SPD以限制传导来的过电压;
 - g) 如果采用M型等电位连接网,则该系统的各金属组件不应与共用接地系统各组件绝缘,M型等电位连接网应通过多点组合到共用接地系统中去,并形成Mm型;
 - h) 通常M型等电位连接用于延伸较大和开环系统,而且在设备的各分项之间敷设许多线路和电缆,设施和电缆在几个点进入该信息系统;等电位连接网的多重短路环路对磁场起到衰减环路的作用,从而在使信息系统的邻近区内减弱初始磁场;
 - i) 在复杂系统中,两种型式(M型和S型)的优点可组合在一起;
 - j) 一个S型局部等电位连接网可与一个共用接地系统相连;局部等电位连接地网的所有金属组件和设备的各分项应与共用地各组件有足够的绝缘;
 - k) 从人身安全、避免雷击损坏设备的信息系统安全运行出发,应采用共用接地系统和等电位连接;
 - l) 不宜从远处引长线做单点接地;
 - m) 应经常检测TN-S系统是否局部或全系统转变为TN-C系统及漏电电流的变化,以便及时修复、防止工频电流的干扰;
 - n) 在电子设备较多之处,利用钢管和封闭钢线槽作为保护地线,或者当另敷设保护地线时,应将其敷设在钢管和封闭钢线槽之内。

8 通信建筑物综合防雷设计要求

8.1 适用范围

适用于高度60m以下的通信建筑物防雷装置的设计和安装。

8.2 钢筋混凝土建筑物

当满足以下条件时钢筋混凝土建筑物的钢筋体被认为在电气上是贯通的:

- a) 垂直钢筋与水平钢筋的交叉点约有50%是采用焊接或可靠绑扎连接;
- b) 垂直钢筋的连接是焊接或搭接长度至少为其直径的20倍,并可靠绑扎;
- c) 各预制混凝土构件与各相邻预制混凝土构件之间有钢筋体的电气贯通。

8.3 通信建筑物外部防雷装置

8.3.1 接闪器

装设接闪器后将大大减小雷击的可能性,接闪器可由以下各项任意组合而成:

- a) 避雷针;
- b) 避雷线;
- c) 形成网格的导体。

8.3.2 电气设备在该安装位置能承受的电涌电压

如果电气装置由架空线供电,或由埋地电缆引入段短于150m的架空线供电,当地区雷电过电压大于6000V且雷击日每年超过20d,就应在电源进线处装设电涌防护器;如地区雷电涌压在4kV和6kV之间,则建议在进线处装设SPD,防止雷电击坏通信、电气设备;当SPD被击穿短路对地泄放雷电流时,其端子上的残压一般不大于2.5kV;SPD的安装数量与电气装置的接地系统的型式有密切的关系,一般

情况下其安装数量如表 9 所示。

表 9 防护安装

	三相回路	单相回路
TT 系统	4, (3L+N)	2, (L+N)
TN-S 系统	4, (3L+N)	2, (L+N)
TN-C-S 系统	3, (3L)	1, (L)
TN-C 系统	3, (3L)	1, (L)

8.3.3 电源进线要求

在 TN-C-S 和 TN-C 系统中电源进线回路中有相线和 PEN 线, 而 PEN 线需与总等电位联结的接地母排相连通而接地, 所以这两种系统的 PEN 线上不需装设 SPD。TN-S 和 TT 系统中的 N 线在进线处不接地, 这两种系统的 N 线上应和相线一样装设 SPD。

8.3.4 防电涌要求

SPD 与相线、N 线和“地”(PE 线)的连接线应力求短直, 以免引起的对地暂态过电压将压敏电阻 SPD 烧毁的事故。

8.3.5 SPD 连接线要求

SPD 连接线的全长不宜超过 0.5m; 将 SPD 直接装在配电箱内母排之间, 连接线越短直, 设备绝缘承受的电涌电压越低; SPD 连接线的截面不应小于铜线 4mm^2 , 以满足通过雷电涌流时导线热稳定的要求, 当建筑物装有避雷针、避雷网防直接雷击的防雷装置时, 雷电电磁场强度大, 此连接线的截面应适当加大。

8.3.6 电涌敏感的电子设备保护

对电涌敏感的电子设备可采用隔离变压器、滤波器、SPD 等不同措施来防范电涌危害, 采用 SPD 在电源进线处装设一级 SPD 的防护, 在电源线路的适当位置再加装一级 SPD。

8.3.7 多级保护装置

多级保护装置要求如下

- 多级保护装置, 至少应包括泄流和限压这两级电路; 第一级作为泄流电路, 主要用来泄放脉冲大电流, 将过电压暂态能量的大部分进行旁路和吸收; 第二级作为限压电路, 主要用来钳制电压, 即限制电路中的残压, 以保护后续设备;
- 为了实现两级电路的较好配合, 在一、二级之间还应串入合适的元件, 一般电感和电阻均可作为被选元件。

8.3.8 无线通信建筑物的保护措施

对于无线通信建筑物, 在建筑物上装设避雷带、网、针或混合组成的接闪器, 沿屋角、屋脊、屋檐和檐角等易受雷击的部位敷设, 并在整个屋面组成不大于 $5\text{m} \times 5\text{m}$ 、 $6\text{m} \times 4\text{m}$ 的网格, 所有均压环采用避雷带等电位连接, 通信天线防直击雷保护措施, 采用的是常规的独立避雷针, 独立针接闪器采用圆钢或焊接钢管组成, 针长 $1\text{m} \sim 2\text{m}$ 时, 圆钢直径为 16mm , 钢管直径为 25mm 。

8.3.9 通信建筑物的接闪器

建筑物的接闪器引下线不应少于两处, 并沿通信机房四周均匀对称布置, 其间距不应小于 12m , 利用建筑物的钢柱或立柱内钢筋作为引下线时, 可按跨度设引下线, 但引下线的平均间距不应大于 12m ; 对于高山通信站的独立避雷针, 其引下线圆钢直径大于 10mm , 防直击雷接地, 设计指标应保证可靠、安全泄流, 阻值不大于 4Ω 。

8.3.10 通信天线雷电过电压保护

雷电过电压保护是在瞬态过电压的极短时间内, 在被保护区域内的所有导电部件之间建立一个等电位, 这种导电部件包括了供电系统的有源线路和信号传输线, 也就是说为了保证通信天线免遭雷击, 要在

极短的时间内,将高达千安的雷电流从电源传输线和信号传输线分流或传导入地。

8.3.11 多级泄流

选择合适的多级泄流的放电装置,建立一个电位补偿系统,使得被分流、传导的雷电流以最短的路径通过电位补偿系统入地。

8.3.12 电源传输线的过电压保护

电源传输线采用三级保护时,雷击电流放电器应安装在传输线入户处,雷击电流放电器的保护水平(残压)在 $2\text{kV}\sim 4\text{kV}$,低压保护器的保护水平小于 600V 。

8.3.13 信号传输线的过电压保护

与信号传输线相接的信号口,极易被雷击而损坏,为了将强电流从信号传输线上传导入地,过电压保护器须快速响应,在设计信号传输线的保护方案时应考虑信号的传输速率、信号电平,以及接口的匹配阻抗等参数。

8.3.14 避雷器的多级保护方式

信号传输线遭受直击雷或感应雷击时,将产生极高的雷电电压,危及设备的安全,为减轻雷电对终端设备的危害,在线路上相隔一定的距离设置火花放电间隙或耐高压冲击的陶瓷放电管,在入室端设置信号避雷器的多级保护方式。

8.3.15 电位补偿系统的导线连接保持最短距离

为使各类过压保护器发挥有效作用,应将过压而引起的电流以最短的途径通过电位补偿系统入地,在安装电位补偿系统时,把通信发射机、电源及各类过压保护器与电位补偿系统的导线连接保持最短距离。

8.3.16 连接方式

接地是避雷、防雷工作最重要的环节,不管防直击雷雷击、防感应雷雷击或其他防雷方式,最终都是把雷电流引入大地,合理和良好的接地装置是可靠避雷的基础。

8.3.17 改善电阻率

在土壤电阻率较高的环境下,一般的地极埋设难以达到所要求的电阻值,此时应采取多种措施来降低接地电阻值,如采用换土深埋接地体、使用长效降阻剂等办法来实现降阻和改善电阻率。

8.3.18 等电位连接措施防直击雷接地

等电位连接措施,防直击雷的环形接地、系统工作地接地、安全保护接地、直流工作地接地、防雷接地等接地系统进行电气连接,其接地电阻不大于 4Ω 。

8.3.19 避免电磁干扰

为避免电磁干扰,采取多种接地的接地线分别接到接地母线上(即铜排),由接地母线采用一根接地线单点接地方式,设备至接地母线的连接,导线应采用多股编织铜线或铜带(尽量缩短连接距离),并采取格栅等措施,使格点处于同一电位上,从而起到联合共地的均压、等电位作用,有效保证通信设备和人员的安全。

8.3.20 接闪装置截面

考虑到雷电流流通能力和机械强度后,科学地计算出铜材、铝材和铁材做为接闪装置的最小截面分别定为 35mm^2 、 50mm^2 、 70mm^2 。

8.4 雷电防护布置

8.4.1 在设计接闪器时,按照表 10 的要求进行。

表 10 不同保护角、滚动球体和避雷网网格组成的接闪器

保护级别	滚动球体的半径 m	避雷针高度 m				避雷网网格宽 m
		20	30	45	60	
I	20	25°	●	●	●	5
II	30	35°	25°	●	●	10
III	45	45°	35°	25°	●	10
IV	60	55°	45°	35°	25°	20

注 1: ●表示仅采用滚球和避雷网。
注 2: 25°、35°、45°、55°表示保护角。

8.4.2 建筑物的下列物体作为自然接闪器时,对其要求如下:

- 板间的连接具有持久的电气贯通;
- 当金属板需要考虑发热点时,金属板的厚度不应小于表 11 的值;
- 当不需要考虑防止金属板穿孔和不需要考虑金属板下面的任何易燃物品着火时,金属板厚度应不小于 0.5mm;
- 金属板无绝缘覆层;
- 金属板上面或上方的非金属物可考虑不属于需要防雷的空间。

表 11 用作接闪器的金属板或金属管的最小厚度

保护级别	材料	厚度 (t) mm
I—N	Fe(铁)	4
	Gu(铜)	5
	Al(铝)	7

8.4.3 当非金属屋顶可不考虑属于需要防雷的空间时,其下方的屋顶结构的金属物(桁架、互相连接的钢筋网等等)考虑如下:

- 金属物,如排水沟、装饰物、栏杆等等,其截面不小于对标准接闪器所作的规定;
- 厚度不小于 2.5mm 的金属管、金属罐,且不会由于被击穿而发生危险或其它不可接受的情况;
- 薄的油漆层或 0.5mm 的沥青层或 1mm 聚乙烯不看作是绝缘物。

8.5 防雷引下线

防雷引下线要求如下:

- 应有较多数的并联电流路径;
- 电流路径的长度是最短的;
- 应尽量做到引下线是接闪器导体的直接延续;
- 引下线间的距离最好是沿周长取等间距,应在靠近建筑物的屋角处布置引下线;
- 引下线应在靠近地面处和垂直每隔 20m 处用环形导体互相连接起来;
- 对于独立的防雷装置,引下线与需要防雷的空间的金属装置之间的距离应算出安全距离。

8.6 对于非独立于需要防雷的空间防雷装置的引下线的安装

安装方法如下:

- 墙用非可燃材料构成时,引下线可安装在墙面上或暗敷在墙内;

- b) 墙用可燃材料构成,但当流过雷电流而使引下线温度升高而对墙壁材料无危险时,引下线可安装在墙面上;
- c) 墙用可燃材料构成,且引下线的温升对墙壁材料有危险时,引下线应使其与需要防雷的空间之间的距离大于0.1m。固定引下线的金属支架可与墙接触;
- d) 引下线不应安装在排水沟或下水管内,排水沟内的潮湿对引下线有强烈的腐蚀效应,引下线与门、窗之间保持一定距离;
- e) 引下线应直线且垂直安装,使其具有最短、最直接的路径,应避免出现环形。

8.7 独立防雷装置的布置

独立防雷装置的布置要求如下:

- a) 当接闪器是用设在独立杆塔上的避雷针组成时,每杆塔至少需要一根引下线;杆塔是用金属制成或有互相连接的钢筋网时,不需要另设引下线;
- b) 当接闪器是由独立的水平架空线组成时,在架空线的每一端至少需设一根引下线;
- c) 当接闪器由网格组成时,每一支持物至少需设一根引下线。

8.8 非独立的防雷装置的布置

非独立的防雷装置的布置要求如下:

- a) 沿需要防雷的空间的四周布置引下线,使引下线之间的平均距离不大于表12所规定的值,在所有情况下,至少需设两根引下线;
- b) 引下线之间的平均距离与安全距离有关;如果平均距离大于表12所规定的值,应相应地加大安全距离。

表12 按照保护级别规定的引下线之间的平均距离

保护级别	平均距离 m
I	10
II	15
III	20
IV	25

8.9 接地装置

8.9.1 为了将雷电流流散入大地而不会产生危险的过电压,接地装置的形状和尺寸比接地体电阻的特定值更重要。当然接地电阻越小越好。

8.9.2 建筑物设一共用接地装置较好,它适于所有接地之用(例如,防雷、低压电力系统、通信系统)。

8.9.3 由于其它原因应分开装设的接地装置,应按要求采用等电位连接,连到共用接地装置上。

8.9.4 其他接地装置是分开还是连接在一起的条件通常由实际情况而定。

8.9.5 接地装置不能采用不同材料互相连接。

8.9.6 应采用一个或多个环形接地体、垂直(或斜形)接地体、水平接地体或基础接地体。

是否采用板状或小块网栅接地体不作规定,但是在可能有腐蚀损害(特别是在连接处)地场合下应避免采用。

采用若干根合适长度的分散导体优于采用单根长接地导体;接地体按保护级别采用的最小长度依不同土壤电阻率而定。

当土壤电阻率随深度的加深而减小和当比正常垂直接地体更深处有低土壤电阻率的土层时,将垂直接地体打入深处是有效的。

8.9.7 接地装置一般采用如下的接地体布置:

a) A型布置

A型布置由水平接地体或垂直接地体组成。每一引下线应至少连接到一独立的水平接地体或垂直(或斜形)接地体上。接地体的最少数应不少于两组。

对A型接地体,当该区域对人或动物有危险时,应进行专门的测量。

在低土壤电阻率地区,当接地电阻小于 10Ω 时,可不考虑所规定的最小长度。

对组合型接地体,应考虑总长度。

A型布置适用于低土壤电阻率地区和小型建筑物。

b) B型布置

B型布置对于环形接地体(或基础接地体),其所包围的面积分别按保护级别I、II、III、IV而定。

c) 特殊条件下的接地布置

当不要求装设外部防雷装置,但根据要求需要进行等电位连接时,可以用水平接地体或斜形接地体作为接地装置。

低压电力系统接地装置的水平接地体或垂直(或斜形)接地体可利用该接地装置作为等电位连接之用。

8.9.8 接地体的安装要求如下:

- 外部环形接地体埋深不小于0.5m,距墙不应小于1m;
- 接地体应安装在需要防雷的空间之外并至少埋深0.5m,接地体应尽可能均匀布置,使其在地中的电气耦合效应减至最小;
- 埋地接地体应在建设期间进行检查;
- 接地体的形式和埋深应使腐蚀、土壤干涸和结冰等效应减至最小程度,使等效接地电阻稳定。对裸露的坚硬岩石,建议仅采用B型接地布置。

8.10 线夹和连接点

8.10.1 线夹

接闪器和引下线应坚固地固定,使电力或意外机械力(例如,摇动、雪块滑落等等)不会使导体断开或松开。

8.10.2 连接点

沿导体的连接点应最少。连接点应可靠连接,例如采用铜锌合金焊接、溶焊、卷边压接、螺钉或螺栓连接。

8.11 材料

所采用的材料应经受得住雷电流的电磁效应以及可预见到的意外应力而不会损坏。

8.11.1 选择材料和尺寸大小时既应顾及需要防雷的建筑物也应顾及防雷装置受腐蚀的可能。

8.11.2 如果所采用的材料具有足够的导电率和耐腐蚀性能,则可用列于表13的材料制作防雷装置的各部件。也可采用具有等效机械、电气和化学(耐腐蚀)特性的其他金属物。

表13 防雷装置的材料和应用的条件

材料	应用于			与下列物质接触后遭受腐蚀的情况		
	空气中	地中	混凝土中	有耐腐蚀的性能	有被腐蚀的危险	将被电解腐蚀
铜附着导电硅橡胶	—	整体	—	在盐、碱、酸性土壤中良好	无	无

8.11.3 尺寸

最小尺寸列于表14。

表 14 防雷装置材料的最小截面积

保护级别	材料	接闪器 mm ²	引下线 mm ²	接地装置 mm ²
I—IV	Fe(铁)	35	16	50
	Gu(铜)	70	25	—
	Al(铝)	50	50	80

8.11.4 防腐蚀

在有腐蚀危险的地方,按照表 13 的要求选择材料。

8.12 内部防雷装置

8.12.1 等电位连接

为减小需要防雷空间内的火灾、爆炸及生命危险,等电位是一项很重要的措施。等电位是用连接导线或过电压保护器将处在需要防雷的空间内的防雷装置、建筑物的金属构架、金属装置、外来的导体、电气装置、电信装置等连接起来。

8.12.2 金属装置的等电位连接

至少应在以下地点做等电位连接:

- 在地下室或在靠近地平面处,连接导线应连到接板(连接母线)上,连接板的构成和安装要易于接近检查,连接板应与接地装置连接,对于大型建筑物,如果连接板之间有连接,可装设多块连接板;
- 对高度超过 20m 的建筑物,在地面以上垂直每隔大于 20m 处,连接板应与连接各引下线的水平环形导体连接;
- 在那些满足不了安全距离的地方;
- 独立的防雷装置,应在地面处作等电位连接。

8.12.3 设有绝缘段的等电位连接

如果在水管或气管上设有绝缘段时,应用相应运行条件而设计的等电位连接器。可采用以下方法完成等电位连接器:

- 在那些自然连接不能保证电气贯通的地方用连接导线连接,如果全部雷电流或其大部分流过连接点,则连接导线的最小截面按表 15 选用,在其他情况下按表 16 选用截面;

表 15 流过大部分雷电流的连接导线的最小截面

保护级别	材料	截面 mm ²
I—IV	Fe(铁)	16
	Gu(铜)	25
	Al(铝)	50

表 16 流过很小部分雷电流的连接导线的最小截面

保护级别	材料	截面 mm ²
I—IV	Fe(铁)	6
	Gu(铜)	10
	Al(铝)	16

- b) 在那些不允许用连接导线的地方,采用过电压保护器跨接;
- c) 应按便于检查的方式安装过电压保护器。

8.12.4 外来导体的等电位连接

应尽可能在靠近进户点处对外来导体做等电位连接。预计大部分雷电流将流过这些接点。

8.12.5 在特定条件下的金属装置、电气和通信装置、外来导体等电位连接

当不要求装设外部防雷装置时,金属装置、电气和通信装置、外来导体等在地平面处连到符合要求的接地装置上。

8.12.6 在通常情况下电气和通信装置的等电位连接

电气和通信装置应按照要求做等电位连接。应尽量在靠近进户点处做等电位连接。

8.12.7 有屏蔽层导体的等电位连接

如果导体有屏蔽层或穿于金属管内,当这类屏蔽物上的电阻电位差不危及电缆和所连接的设备时,将这类屏蔽物做等电位连接就足够了。

8.13 各种装置与防雷装置之间的安全距离

为了避免产生危险的电火花,当不可能做等电位连接时,防雷装置与金属装置、外来导体、线路等之间的分开距离 S 应等于或大于安全距离 d ,安全距离按公式(1)计算。

$$d = k_i \frac{K_c}{k_m} \times L \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- d ——安全距离, m;
- k_i ——各种装置至防雷装置安全距离用的系数(见表 17);
- K_c ——防雷装置的外形结构;
- k_m ——取决于间隔材料,各种装置至防雷装置安全距离用的系数(见表 18);
- L ——从接近点算起沿防雷导体至最近的等电位点的长度, m。

本计算式适用于引下线之间的距离为 20m。对于有互相连接钢筋网的钢筋混凝土建筑物、钢构架建筑物、有等效屏蔽作用的建筑物,正常时是满足安全距离要求的。

表 17 确定各种装置至防雷装置安全距离用的系数 K_i

保护级别	K_i
I	0.1
II	0.075
III、IV	0.05

表 18 确定各种装置至防雷装置安全距离用的系数 K_m

材 料	K_m
空 气	1
固 体	0.5

附 录 A
(资料性附录)
接地和反击的防止

A.1 接地系统

接地系统是影响通信信息系统稳定、安全、可靠运行的一个重要环节,为了通信信息系统稳定的工作,须有一个接地参考点。接地系统基本分为两种形式,其一是通信信息系统单独设计一个专用接地系统,其二是将通信信息接地系统与其它接地系统联在一起组成一个公用接地系统。

A.1.1 独立接地系统

过去在设计机房时,往往将计算机系统的直流地(逻辑地)、交流工作地、安全保护地和防雷地相互独立。为了防止雷击时反击到其他接地系统,还规定了它们相互之间应保持的安全距离。采用独立接地方式的目的是为了保证相互不干扰,当出现雷电流时,仅经防雷接地点流入大地,使之与其它部分隔离起来。有关规程提到若把直流地(逻辑地)防雷地分离时,其间距离应相距 15m 左右。在不受环境条件限制的情况下,采用专用接地系统也是可取的方案,因这可避免地线之间相互干扰和反击。

A.1.2 共用接地系统

建筑物为钢筋混凝土结构时,钢筋主筋实际上已成为雷电流的下引线,在这种情况下要把防雷、安全、工作三类接地系统分开,实际上遇到较大困难,不同接地之间保持安全距离很难满足,接地线之间还会存在电位差,易引起放电,着火和人身危害。考虑到独立专用接地系统存在实际困难,现在已趋向于采用防雷、安全、工作三种接地连接在一起的接地方式,称为共用接地系统。在 IEC 标准和相关的标准中均不提单独接地,国标也倾向推荐共用接地系统。这个系统容易均衡建筑物内各部分的电位,降低接触电压,排除在不同金属部件之间发生闪络的可能,接地电阻更小。在共用接地系统基础上,可以进一步把整个机房设计成一个等电位准“法拉第笼”,建筑物防雷、动力、安全和计算机共用一个接地网,接地下引线利用建筑物主钢筋,钢筋自身上、下连接点应采用搭焊接,上端与楼顶避雷装置、下端与接地网,中间与各层均压网、环形接地母线焊接成电气上连通的“笼式”接地系统。接地电阻一般应小于 1 欧姆,为减少外界电磁干扰,建筑物钢筋、金属构架均应相互焊接形成等电位准“法拉第笼”。这种结构系统,不同层接地母线之间可能还有电位差,应用时要注意。采用共用接地之后出现的新问题,是在设备的绝缘上出现地线反击电压,地线反击是由于雷电流流过,使正常情况下处于低电位的接地导体的电位升高,经地线反击到电子设备,使设备出现过电压。地线反击也属传导性干扰,对微电子设备也会造成很大的危害,但这一点往往被忽视,而这也是造成设备损坏的重要因素。地线反击和接地系统有着密切关系,接地冲击电阻越小,反击电压也就越低,给设备造成的危害也就越小。

A.1.3 接地平面

理想的接地平面是一个零电位、零阻抗的物理体。

接地平面应采用低阻抗材料制成(例如铜),并有足够的长度、宽度和厚度,以保证在所有频率上都呈现出一个可以忽略的阻抗。例如,用于安装固定式装备的接地平面应当由整块薄铜板或网络为 25.4cm×25.4cm 或更密一些的铜栅网组成。接地平面应对大地呈现很大的电容。在组装时接地平面应延伸到所有设备底面的下方,而且要比该设备底面最大尺寸伸长 1.8cm 或更长。

A.1.4 接地方式

通常采用四种基本的接地方式:浮地、单点接地、多点接地以及混合接地。

A.1.4.1 浮地

这种接地方式的缺点是设备不与大地直接相连,容易产生静电积累现象,这样积累起来的电荷达到一定程度后,在设备和大地之间会产生具有强大放电电流的静电击穿现象。为了解决这个问题,在设备

与大地之间接进一个电阻值很大的泄放电阻,以消除静电积累的影响。

A.1.4.2 单点接地

单点接地是指在一个线路中,只有一个物理点被定义为接地参考点。当单点接地的几条连接线的长度与电路工作波长相比很小时,则可采用这样的接地方式。因此,它只适用于低频设备系统中。如果系统的工作频率很高,以致工作波长 λ 缩小到与系统的接地平面的尺寸或接地引线的长度接近于 $\lambda/4$,它就成为一根终端短路的传输线,而不能起到“地”的作用。同时,由于频率很高,使地线的电感增加而增加了地线的阻抗,也增加了地线间的电感耦合,产生干扰。单点接地系统避免使地线构成回路,因此在配置上经常是使地线成为树叉状。在结构上有下列三种形式:

A.1.4.2.1 用独立接线排的单点接地系统

在设施中各系统均以一独立的接地排连接到设施的主接地板上,各系统的分系统则都单独用接地线连接一系统的接地排上。采用独立接线排的单点接地系统。

A.1.4.2.2 用公共母线的单点接地系统

每个系统内的各分系统是单点接地,然后利用单根绝缘导线把每个系统的接地点连接到树叉状的接地母线上。

A.1.4.2.3 用主接地板和支路接地板的单点接地

在设施中心安装主接地板,设施中的各设备支路接地板都通过主干接地电缆接到该板上,而该板再与设施的大地电极连接。

A.1.4.3 多点接地

多点接地是指某一个系统中,各个接地点都直接接到距它最近的接地平面上,以使接地引线的长度为最短。

多点接地的优点是电路构成比单点接地简单,而且由于采用了多点接地,接地线上出现高频驻波的现象显著减小,它是高频信号电路的唯一实用的接地方式。但是采用多点接地以后,设备内部就存在许多地线回路,因此,提高接地系统的质量就变得十分重要了。为了使多点接地有效,当导线长度超过最高频率的 $\lambda/8$ 时,多点接地就需要一个等电位接地平面。在多点串联接地系统中,串联的顺序尽可能由小信号电路单元向大信号电路单元移动,这样可以避免大信号对小信号的影响。

A.1.4.4 混合接地

混合接地就是指单点接地和多点接地的组合。单点接地的应用频率范围一般为300kHz以下,在有些场合可用在3MHz以下;多点接地的应用频率范围一般为300kHz以上,但在很多场合其使用频率范围为500kHz~30MHz;单点和多点的混合接地应用频率范围为50kHz~10MHz。

A.1.4.4.1 电子设备的混合接地

在电子设备中既有低频电路又有高频电路,应采取混合接地方式。它把设备的地线分为两大类:电源地和信号地。设备中各部分的电源地线都接到电源总地线上,所有的信号地线都接到信号总地线上。两根总线最后汇总到一个公共的入地点,即为大地电极。在信号地中,根据不同的工作频率采用相应的接地方式。如射频、中频放大器及中放、视放部分采用多点接地方式。显示器、扫频电路、记录仪等低频电路则采用单点接地方式。从而实现了混合接地。

A.1.5 电路接地

设备中电路的接地平面应对系统内的所有工作频率都呈现可忽略的低阻抗,该接地平面作为电路的公共地回路。每个电路都会向接地平面送出它自身的电流。任何一个地回路路径,当它绕过或穿过别的地回路路径时,就会引起路之间或级之间的耦合而产生干扰。这个干扰电压值取决于接地平面引入的有害耦合影响,可以把电路元件分为几组接地,以使地回路路径尽量短而直,尽量避免交叉。还可以用隔离变压器电路来抑制地电势的影响。

A.1.5.1 单级电路的接地

同一放大电路采用了两种接地方式即单点和多点接地。但是对于单级电路来说,最好是一点接地,

因为地线不是理想的零阻抗。当多点接地时,各接地点的电位是不同的,这样在电路的输入端就引入了由地电流形成干扰电压,使电路工作不稳定甚至失误。而单点接地时,地电流对电路的输入端没有影响。

A.1.5.2 多级电路的接地

多级电路接地点的选择是十分重要的,正确的接地方法是应选择在低电平电路的输入端,当多级电路的接地点选择在靠近低电平端时,地电位对电路的干扰最小。

A.1.6 电源接地

为了减小供电电源母线上的负载感性噪声,电源的一端应很好地接地。避免两负载采用一根电源母线供电,应采用各自独立的电源线供电。这种分开的供电方法有助于减少通过公共电源母线上产生的负载感应干扰。最理想的方法是每一个负载有一个独立的电源,但通常是不允许的。比较经济的办法是负载分离方法,或者接入去耦电路。一般去耦电路由电阻和电容器构成,也可由电阻和齐纳二极管等稳压器件构成。去耦电路中的电容器和电阻值大小的选择,应满足频率 $f_0 = 1/2\pi RC$ 远远小于耦合频率。

A.1.7 安全接地

安全接地是指电气、电子设备的机壳或底盘接地。数字系统设备机箱都应设置安全地连接点。安全地可以与信号地分开,也可以与信号地共用。

A.1.8 信号接地

信号接地方式主要采用单点接地和多点接地,当信号电平相差较大时,要采用串并联的接地方法,并按信号由小到大逐步移动的原则。交流电源的地线不能作信号地线,因为一般电源地线间的两点间的电压有几百毫伏至几伏的范围,这对信号电平,尤其是低电平信号是一个非常严重的干扰。

为了防止辐射干扰和降低地线阻抗,对信号接地线的长度要有一定的限制。因为随着频率的升高,地线阻抗要增加,特别当地线的长度是 $\lambda/4$ 波长的奇数倍时,地线阻抗会变得很高;同时这时地线就相当于 $\lambda/4$ 的天线,可以向外辐射干扰信号。

信号接地的两种基本形式。其一是信号地引至机壳外表面的连接点,并与机壳安全地单点连接,然后再通过分支和主接电缆单点信号接地;其二是信号地引至壳体外表面的连接点,在电气上与机壳安全地绝缘,信号地再通过分支和主接地电缆单点信号接地。

A.1.9 屏蔽电缆屏蔽层的接地要求

屏蔽电缆屏蔽层的接地要求如下:

- 屏蔽电缆一般分为低频电缆和高频电缆,对低频信号电缆屏蔽层应单点接地;对屏蔽的电力电缆和高频电缆的屏蔽层至少应在电缆两端接地;
- 当电缆的长度 L 小于 0.15λ 时,则要求单点接地。无论是单芯或是多芯屏蔽电缆,在电源和负载电路中,一端为接地点,另一端与地绝缘,其中接地点就是屏蔽层的接地。一般均在输出端接地。
- 当电缆长度 L 大于 0.15λ 时,则采用多点接地,一般屏蔽层按 0.05λ 或 0.1λ 的间隔接地,以降低地线阻抗,减少地电位引起的干扰电压;
- 对于输入信号电缆的屏蔽层不能在机壳内接地,只能在机壳的入口处接地,此时屏蔽层上的外加干扰信号直接在机壳入口处入地,避免屏蔽层上的外加干扰信号带入设备内的信号电路上;
- 对于高输入或高输出阻抗电路,尤其是在高静电环境中,可能需要用双层屏蔽的电缆,这时,内屏蔽层可以在信号源端接地,外屏蔽层则在负载端接地。

A.1.10 接地的电磁兼容性要求

接地的电磁兼容性要求如下:

- 电路应按要求安全接地;
- 对于信号回线、信号屏蔽层回线、电源系统回线以及底板或机壳要有单独的电路接地系统,然后将这些回路接到一个参考点上;
- 对那些将出现较大突变电流的电路,要有单独的接地系统,或者有单独的接地回线,以减少对其

他电路的瞬态耦合；

- d) 低频电路的接地回线要与其他接线隔离开；
- e) 为了尽量减少接地电路干扰的影响,可使用差分电路、两电路单元之间采用变压器耦合以及光耦合器等；
- f) 电路在低频工作时(即小于 0.05λ 时),应采用单点接地;大于 0.15λ 时,应采用多点接地;当电路工作频率介于 $0.05\lambda\sim 0.15\lambda$ 之间时,应根据接地线的实际位置及被接地电路的传导发射和传导敏感度容限决定接地方式;对于那些工作频率范围很宽的电路,还应用混合接地；
- g) 对于射频电路接地,要求接地线尽量要短或者根本不用接线而实现接地。

A.1.11 高频信号的接地

电子设备单独接地,此地被称为直流工作地或信号地、逻辑地,它实质上是高频信号的接地。单独信号地的目的是防止地网中杂散电流或暂态电流干扰设备的正常工作。考虑到50Hz频率下人身安全的等电位要求以及现代电子设备为了防止电磁干扰,其直流地,高频地是与外壳连在一起的。雷电引下线就是避免将电缆布设在建筑物四周,为防止闪络,提出了等电位连接或隔离的要求,在装有防雷装置的建筑物,在防雷装置与其它设施和建筑物内人员无法隔离的情况下,应采用等电位连接,在不能形成所有设备,电气接地与防直击雷接地共用时,两者之间的地中距离应符合要求,但不应小于2m。

A.2 隔离绝缘和分流限幅

A.2.1 隔离绝缘

雷击通信建筑物后,接地系统的电位升高,使所有与它连接的设备外壳带上了高压。而计算机设备又是经过信号线或电源线引至远端的零电位点。于是升高的外壳电位便在设备的平衡电路纵向绝缘上出现高压,可能导致绝缘被击穿。为此大楼进线应用金属护套电缆或电力电缆,加强绝缘,隔离或分流限幅等方法,均可收到防护的效果。加强绝缘,就是提高界面处直接承受冲击电压介质的绝缘水平,使其不被过电压击穿。隔离,如在电源进线上,加1:1的隔离变压器,保持设备内外线没有电气上的连接,相当于将反击电压降反转移到隔离变压器的初线圈和机壳之间,从而保护了设备的安全,信号线侧亦可采用类似措施。

A.2.2 分流限幅

分流限幅,其实质就是利用纵向保护,当大楼提高了电位之后,启动线路防雷器的纵向保护元件,把冲击电流引到线路上。

A.3 计算机系统防护问题

采用共用接地后,有可能因设计或施工不合理,在设备之间产生干扰,应该引起注意,并采取相应措施予以反击电压的转移消除。处于不同接地点的电子设备(不在一幢大楼内的电子设备,很可能就不是一个接地点),彼此互连时,应采取隔离或其他防反击措施。雷击建筑物或附近地区雷电放电所产生的瞬变电磁场,会在建筑物内信号线路接口处产生瞬态过电压,此过电压大小与布线走向等有关,因此合理布线、屏蔽及接地也很重要。在有些地区虽然雷暴日不多,但电力系统操作过电压、静电放电等干扰还是存在的。因此搞好计算机系统瞬变过电压的防护工作,在任何地区都是同样重要的。总之,计算机的外来电磁干扰,主要由线路、地线和空间瞬变电磁场等环节侵入到系统,只要在线路接口处安装相应的电涌保护器(SPD),以及采取合理布线、屏蔽和接地等措施就能有效地保护计算机系统。接地系统因受客观环境限制,相对复杂一些,应根据具体情况,选择合适的接地方式。

A.4 电源回线

电源回线主要有两种实施方法,即公共回线(通过接地系统或机壳),也可用一根导线作电源回线。虽然公共回路可以节省导线,但电流通过公共回线时,会在作为回线的接地平面或机壳上产生电压降,这

个电压降虽然比电源系统的各种供电电压小很多,但可能高于电子系统中某些级的信号电平。所以在那些用框架和结构作电源回线的电子系统中,就会碰到潜在的干扰问题。采用专用一根导线作为电源回线时,其优点是可以提供一个比较完善的单点接地,而不构成复杂的接地环路,从而减少了最容易引起不兼容的接地环路和公共阻抗,电子设备中采用了一根专用导体作为电源回线。

A.5 搭接

搭接要求如下:

- a) 搭接条设计应考虑使用的场所、目的等要求,具有一定的刚度、抗疲劳和耐蚀性;
- b) 为了保证金属表面的紧密接触,要求搭接的两金属表面要平整、光滑和清洁,确保没有氧化层,确保坚固以提供足够的压力,甚至在冲击、振动等情况下也能保持足够的压力;
- c) 应使用相同的金属进行搭接,当不得不使用不同金属搭接时,要尽量选择电化学序相近的搭接材料,以免受电腐蚀;
- d) 搭接条应提供较大的接触面积,以达到低阻抗。搭接条尽可能短而宽;
- e) 直接搭接直流电阻要求小于 $2.5\text{m}\Omega$,搭接条直流电阻要求小于 $10\text{m}\Omega$ 。

附 录 B
(资料性附录)
防雷与屏蔽技术

B.1 防雷屏蔽

防雷屏蔽是用导电或导磁体的封闭面将其内外两侧空间进行的电磁性隔离。因此,从其一侧空间向另一侧空间传输的电磁能量,由于施行了屏蔽而被抑制到极微量。这种抑制效果称为屏蔽效能或屏蔽插入衰减,用分贝表示。屏蔽效能是频率和材料电磁参数的函数。另外,材料的厚度和屏蔽体的连接对屏蔽效能也有显著影响。屏蔽技术包括:

- a) 屏蔽;
- b) 屏蔽体连接,包括固定接缝和活动接缝的连接;
- c) 接地;
- d) 隔离滤波,包括电源线、信号线和控制线的滤波器,以及通风、空调和水、气等动力管道的电磁滤波器;
- e) 信号电缆的电气密封连接;
- f) 屏蔽空间的设备和设施安装。

B.2 屏蔽的分类**B.2.1 直流电磁场屏蔽**

其屏蔽效能取决于屏蔽材料的导磁系数。

B.2.2 地磁屏蔽

地磁场接近于直流磁场,但实际上它是在 20Hz~50Hz 频率范围波动。对地磁屏蔽可看成是对叠加有交流场的直流磁场屏蔽。其屏蔽效能取决于增量导磁系数。

B.2.3 低频磁场屏蔽

低频磁场屏蔽是指甚低频(VLF)和极低频(ELF)的磁场屏蔽。主要屏蔽机理是利用高导磁材料具有低磁阻的特性,使磁场尽可能通过磁阻很小的屏蔽壳体,而尽量不扩散到外部空间。屏蔽壳体对磁场起磁分路作用。其屏蔽效能主要取决于屏蔽材料的导磁系数 μ ;随着频率增加,材料的电导率 σ 也起一定作用。

B.2.4 电磁屏蔽

从广义角度,所有屏蔽均属电磁屏蔽。但从狭义角度,电磁屏蔽是指从 1Hz~10kHz 到 40GHz 频率范围的屏蔽。电磁屏蔽的机理是电磁感应现象。在外界交变电磁场作用下,通过电磁感应屏蔽壳体内产生感应电流,而这感应电流在屏蔽空间又产生了与外界电磁场方向相反的电磁场,从而抵消了外界电磁场,产生屏蔽效果。

B.2.4.1 电磁屏蔽较适用于高频。低频时感应电流小,屏蔽效果较差。

B.2.4.2 应保证屏蔽壳体各部分具有良好的电气连续,使感应电流能在壳体中畅流,以便产生足够大的感应电磁场来抵消外界电磁场,否则将影响屏蔽效果。

B.2.5 静电屏蔽

静电屏蔽用来防止静电耦合产生的感应,屏蔽壳体采用高电导率材料并良好接地,以隔断两个电路之间的分布电容耦合,达到屏蔽作用,静电屏蔽的屏蔽壳体应接地。

B.3 涡流效应控制

在外界电磁场作用下,屏蔽体内感应的电流产生一个电磁场,后者抵偿了引起电流的外界电磁场。这种在屏蔽体内感应的电流,可以看成是涡流。为了获得有效的屏蔽作用,屏蔽体的厚度应近似于屏蔽体中电磁波波长 λ 。

B.4 门的屏蔽效能

在均匀屏蔽理论中是把金属板屏蔽体看成是无孔隙的均匀无限平面,主要是用于屏蔽材料的选择和屏蔽方式的确定。然而在实际的屏蔽中,屏蔽体不是无限平面,而是具有六个面的封闭体,并且在屏蔽体上不可避免地会存在洞孔和缝隙。另外,屏蔽的空间也决不是孤立的。它必然要和外界有联系,如连接电源系统、通风空调系统、信号联络系统和控制系统等。诸如此类联系的通道也影响屏蔽的屏蔽效能。例如当有孔隙存在时,电磁波穿越屏蔽层有两种途径,即从屏蔽体中和在孔隙中的传播速度不一样,而且传播过程中的衰减也不一样,因此形成了不同的传播途径所造成的电磁场幅度和相位的差异。假定屏蔽体上有一孔隙,设场源到达屏蔽体表面的场强为 H_0 ,于是它将分别通过屏蔽壁和孔隙传输到另一侧,其场强分别为 H_1 和 H_2 。因此在测试点的场强为 H_1 和 H_2 的矢量和,即: $H_1 = H_1 + H_2$ 。

在均匀屏蔽理论中,把电磁波穿越屏蔽壁前后的场强比定义为屏蔽壁的屏蔽效能,这就是非均匀屏蔽理论。作为屏蔽室的总体屏蔽效能的评定,应采用非均匀屏蔽理论。而均匀屏蔽理论的材料屏蔽效能仅作为总体屏蔽效能评定的诸因素之一。表 B.1 列举了几种主要影响屏蔽室屏蔽效能的因素。

表 B.1 几种主要影响屏蔽效能的因素

类 型	符号举例	备 注
金属板材料	S_1	材料种类,电气性能($\mu\sigma$),厚度及层数;
缝隙	S_2	固定和半固定缝隙(焊缝、螺装缝),活动缝隙;
洞孔	S_3	各种电气不连续洞孔;
屏蔽体形状	S_4	矩形,圆管形;
屏蔽体尺寸	S_5	空腔谐振;
混合屏蔽	S_6	屏蔽体采用不同材料构成;
天线效应	S_7	各种金属导体引入屏蔽空间;
电气滤波	S_8	传导耦合。

B.5 屏蔽效能

屏蔽材料,包括实心体金属材料,如金属板、金属箔,以及小孔金属材料,如金属网、冲孔金属和伪均匀金属材料,如金属化喷涂等。这些材料基本上可以分为两类:非铁磁性材料和铁磁性材料。将任意一种材料的损耗,包括反射损耗和吸收损耗,与铜($\mu_r = 1, \sigma_r = 1$)材料的损耗之比定义为该材料的比损耗。对任意场型,包括磁场、电场和平面波,铁反射损耗比铜小。表 B.2、表 B.3,铁和铜的屏蔽效能比较,当 $f < f_0$,铜的屏蔽效能大于铁。

表 B.2 铁的比损耗

频率 (Hz)	相对电导率 σ_r	相对导磁系数 μ_r	比反射损耗 R_r (dB)	比吸收损耗 A_r
60	0.17	1000	-37.7	13
1k	0.17	1000	-37.7	13

表 B.2(续)

频率 (Hz)	相对电导率 σ_r	相对导磁系数 μ_r	比反射损耗 R_r (dB)	比吸收损耗 A_r
10k	0.17	1000	-37.7	13
150k	0.17	1000	-37.7	13
1M	0.17	700	-36.5	10.9
15M	0.17	400	-34	8.25
100M	0.17	100	-27.7	4.12
1G	0.17	50	-24.7	2.91
1.5G	0.17	10	-17.7	1.3
10G	0.17	1	-7.7	0.41

表 B.3 有关金属材料的比反射损耗比和吸收损耗 ($f=150\text{kHz}$)

材料名称	相对电导率 σ_r	相对导磁系数 μ_r	比反射损耗 R_r (dB)	比吸收损耗 A_r
银	1.05	1	0.21	1.025
铜(退火)	1.0	1	0	1
(冷拉)	0.97	1	-0.13	0.985
金	0.7	1	-1.55	0.837
铝	0.61	1	-2.15	0.781
镁	0.38	1	-4.2	0.616
锌	0.29	1	-5.38	0.538
黄铜	0.26	1	-5.85	0.51
镉	0.23	1	-6.38	0.479
镍	0.2	1	-6.99	0.447
磷青铜	0.18	1	-7.45	0.424
铁	0.17	1000	-37.7	13
锡	0.15	1	-8.24	0.387
钢(45号)	0.1	1000	-40	10
铍	0.1	1	-10	0.316
铅	0.08	1	-10.97	0.283
高导磁镍钢	0.06	80000	-61.25	69.28
蒙乃尔合金 (铜镍合金)	0.04	1	-13.98	0.2
高导磁合金 (铁镍铜铬合金)	0.03	80000	-64.26	48.99
坡莫合金	0.03	80000	-64.26	48.99
不锈钢	0.02	1000	47	4.472

B.6 材料选择

B.6.1 金属板

对高阻抗电场和平面波,应选择比反射损耗 R_r 大的金属材料;对低阻抗磁,应选择比吸收损耗 A_r 大的金属材料。对磁场和平面波,建议选用吸收损耗大的铁磁性金属材料。为了增加反射损耗,提高屏蔽效能,可以在铁磁性材料表面镀上一层电导率高的非铁磁性材料。常用的金属板材料有:镀锌钢板、低碳

钢板、铜板和镀铜钢板。不同材料构成的双层绝缘可拆卸式屏蔽室的屏蔽效能见表 B.4。

表 B.4 不同材料构成的双层绝缘可拆卸式屏蔽室的屏蔽效能

屏蔽材料	屏蔽效能 dB				
	磁 场		电 场 和 平 面 波		
	60Hz	15kHz	15kHz	1GHz	10GHz
0.3mm 铜板	2~3	64	120	120	120
24# 镀锌钢板	15	80	120	120	90~106
24# 镀锌钢板和 0.3mm 钢板	18~25	90	120	120	120
9 目/cm、直径 0.382mm 紫铜网	2~3	68	120	120	77
7 目/cm、直径 0.28mm 青铜钢	0	40	120	110	57

B.6.2 金属箔

应选择电导率 σ 大的非铁磁性材料,常用的金属箔材料有铜箔、铝箔和不锈钢箔。

B.6.3 金属网

应选择电导率 σ 大的非铁磁性材料。常用的金属网材料有紫铜网和黄铜网。

B.6.4 导电布、导电织物和金属化喷涂

这类材料属小孔金属和伪均匀金属材料,作为导电的材料应选择比反射损耗大的材料。

B.7 耐腐蚀性

所谓腐蚀是指在潮湿和盐雾气候条件下,屏蔽材料自身的锈蚀和屏蔽体中异种材料连接处的电化腐蚀。因此屏蔽材料应选择有镀层保护的金属材料或耐腐蚀性强的材料;对屏蔽中异种材料应选用电化电位相邻近的金属材料。

B.8 加工工艺

不宜选用不便加工或加工过程中电气性能会受到影响的材料。

B.9 屏蔽室结构

B.9.1 模块式可拆卸结构

这种屏蔽室的特点是,整个屏蔽体是用工厂预先生成的单元屏蔽模块在现场组装而成。屏蔽模块有三种,可以分别组装成单层屏蔽室、双层非绝缘式屏蔽室和双层绝缘式屏蔽室。模块之间的连接,采用螺栓压接,并通过压条和导电衬垫使模块紧接,以保证屏蔽体的电气连续。这种屏蔽室便于拆卸和重新安装,使用方便。表 B.5 为可拆卸式屏蔽室屏蔽效能的统计值。

表 B.5 可拆卸式屏蔽室屏蔽效能量级 ($f=1\text{GHz}$)

屏蔽材料	铜网		镀锌钢板		
	单层	双层非绝缘	单层	双层非绝缘	双层绝缘
屏蔽效能(dB)	60	80	80	100	110~120

B.9.2 焊接式固定结构

这种屏蔽室的特点是,整个屏蔽体是用屏蔽模板在现场焊接而成。为了防止金属板的应力变形,需对模板预先进行加工,使所有模板在连接处均形成“人”字形连接。模板之间的连接,采用 CO_2 保护焊满

焊。焊接后对屏蔽体进行喷漆处理,以防锈蚀。屏蔽材料采用厚度为 1.5mm 薄钢板(屏蔽室地板可用 3.0mm 钢板)。这种屏蔽室屏蔽效能较高,一般为单层结构。

B.9.3 依附于建筑墙体的结构

用金属箔建造的屏蔽室属这一类,它可以与室内装饰结合进行。先将金属箔粘附在装饰板上,然后和装饰板一道胶粘到建筑墙体上,无需另外设置支撑结构。常用的金属箔为铜箔。铜箔有压延铜箔和电解铜箔两种,以电解铜箔性能为佳。铜箔之间的连接采用锡焊满焊。由于这时屏蔽作用主要是涡流控制效应,因此可获得较大屏蔽效应,而且在一定程度范围,材料越薄屏蔽效能越大。

金属喷涂建造的屏蔽室属伪均匀金属材料,屏蔽效能较低,但这种方法施工方便。

B.10 主要屏蔽部件

B.10.1 屏蔽门

门是屏蔽室主要进出口,开关频繁。因此,门缝属活动缝隙,是屏蔽室电磁泄漏的主要部位。为了提高门的屏蔽效能,应确保门缝在频繁活动情况下仍具有良好电气接触。显然,作为门缝电气密封零件,应能经受频繁的压、松,仍保持其弹性和较高的电导率 σ 。实践表明,应采用由锡磷青铜或镀青铜制成的梳形簧片。因此,关键的问题是改进门的结构和簧片结构。

B.10.2 电源滤波器

所有引入屏蔽室的电源线都应经过电源滤波器,以便抑制沿电源线传导的电磁干扰。

B.10.2.1 分割结构滤波器

由于电源线阻抗是随机变化的,因此通常用于通信滤波器的匹配阻抗滤波对电源滤波器不适用。电源滤波器应采用对所有可能出现的电源线阻抗均有良好的滤波性能。一种有效的方法是,采用分割结构滤波器。分割结构滤波器是指,在保持滤波器总电容量 C 不变情况下,增加滤波器节数,并用分割式屏蔽结构使滤波器元件间电气隔离。分割结构可以大大减少滤波器各电感元件的电感量;另外还可以使滤波器本征谐振频率向高端偏移。分割结构电源滤波器可以对任何电源线路阻抗实现最佳滤波,保证良好的阻带特征。从性价比角度考虑,滤波器节数以 3 节~4 节为宜。

B.10.2.2 有耗同轴滤波器

在高频情况下,由于实际电感和电容有较大分布参数,改变了原 LC 滤波器的形式,使滤波效果变差。为了保证电源滤波器在高频端的滤波特性,可以在 LC 分割结构滤波器的输出端再串接一个有耗同轴滤波器。有耗同轴滤波器是在同轴线段中填充有耗介质,使沿电源线传播的电磁干扰在传输过程中被衰减掉。有耗同轴线的特性阻抗 Z 和导纳 Y 为无量纲的材料常数,可用它作为材料的损耗评价,为了防止击穿,在介质材料和外导体之间应加设一层薄的绝缘导管。

B.10.2.3 屏蔽隔离变压器

由于电源滤波器存在有大容量的电容支路,因此当滤波器插入到电网时,地回路将感生有害的感应电压。特别是在装有漏电保护装置电源系统中,一旦插入电源滤波器,电源系统就会立即出现跳闸和报警。另外,在计算机房电源线上,若插入电源滤波器,计算机会出现误动作。为了去除这种感应电压,应在滤波器前面、靠电网侧直接增设一个屏蔽隔离变压器。

B.10.2.4 截止波导型通风孔

作为屏蔽室通风孔,既要保证空气畅通,又要对电磁波有足够衰减。为了提高屏蔽室屏蔽效能和通风效果,宜采用波导通风孔。它是利用波导的截止传输这一特性制作的,常用的截止波导型通风孔有正方形和六角型两种。为了消除电波极化效应,可将两节六角形波导通风孔串接使用,两节波导格子相互垂直。波导通风孔与室外通风管道之间用一段长约 30cm~40cm 的帆布管连接,这样既隔断屏蔽室与外部金属构件联系,又可防震隔音。

B.10.2.5 采光窗

屏蔽效能要求不高的屏蔽室,可以设置采光窗。作为屏蔽采光窗,既要保证有足够的照度,又要对电

微波有一定的衰减。目前制作这种采光窗有三种方法：

B.10.2.5.1 薄导电镀层

用氧化锡铜按预定的厚度真空蒸发到玻璃上,在其四周,用银环氧树脂导电条使导电镀层与屏蔽体连接,构成屏蔽采光窗。这种薄导电层可以在 10kHz~1GHz 频率范围提供较高的电场和平面波屏蔽。缺点是,对磁场屏蔽效果较差。

B.10.2.5.2 金属网

用线径为 $2\mu\text{m}$ 的镀银不锈钢丝或镍铁高导磁合金丝编织成网,网孔为 39 目/ cm^2 ,开孔率为 60%。将这种网放在两块玻璃之间,其四周用高性能导电衬垫使金属网与屏蔽体连接,构成屏蔽采光窗。这种金属网可以提供较好的电场和磁场屏蔽,在 $-45^\circ\sim 45^\circ$ 范围内看不到莫尔条纹。

B.10.2.5.3 薄导电镀层和金属网混合

将金属网放在两块具有薄导电镀层的玻璃之间构成屏蔽采光窗。这种混合型采光窗具有较高的屏蔽效能,但有莫尔条纹出现,需进一步改进。

B.11 信号连接

这是电磁屏蔽中问题较多部分。为了防止干扰波沿信号线传导耦合,一般来说,应在信号线出入屏蔽体处采取滤波、隔离措施。

B.11.1 LC 滤波

信号滤波器属匹配阻抗滤波理论,多采用切比雪夫 LC 滤波网络。信号滤波器的要求,不仅包括信号通带中的插入损耗,而且还要求在通带范围内,插入损耗对信号频率的频响特性应平坦。滤波器外壳和屏蔽体应保持良好的电气连接。

B.11.2 光电隔离

抑制信号线传导干扰的另一种方法是采用光电隔离技术。利用光电转换,在信号线穿越屏蔽层时,用光信号替代电信号传输,隔断干扰的电传导耦合。

B.11.3 直接引入

屏蔽室之间的信号线连接,可以直接引入。但应采用多芯屏蔽电缆和双层屏蔽或三层屏蔽同轴电缆,以及相应的连接器(装在屏蔽体上);不能采用一般单层屏蔽同轴电缆,因为同轴电缆外导体(屏蔽层)是信号的回路。另一种解决方法是,采用钢板屏蔽导管,将信号线敷设在屏蔽导管中。

B.12 屏蔽室谐振时的屏蔽效能

B.12.1 屏蔽室谐振频率

金属板(箔)屏蔽室在不考虑其内部设备影响情况下,可看成是一个大的矩形谐振腔。因此,屏蔽室的谐振频率可按空腔谐振器自然谐振频率公式进行计算。由于屏蔽室中场的激励方向是任意的,因此屏蔽室最低谐振频率,可取长、宽、高尺寸中较大两个进行计算。

B.12.2 屏蔽室谐振时的屏蔽效能

以焊接式钢板屏蔽室为例,屏蔽室尺寸为 $L \times W \times H = 1.83\text{m} \times 1.22\text{m} \times 0.91\text{m}$;屏蔽门采用刀型门。屏蔽室最低谐振频率 $f_0 \approx 150\text{MHz}$ 。

尽管屏蔽门在刚建好时能提供很高的性能指标,但由于受机械应力和电腐蚀的影响,其性能会随时间和使用而下降。因为这些门缝在屏蔽室整个寿命将受到持续损耗,而且特别容易受害于恶劣环境条件。

B.13 老化、潮湿环境影响及周期性维护

B.13.1 老化环境影响

屏蔽门每周仅开/关 1 次至 2 次,无任何维护,4 个月后进行测试。测试频率为 200kHz,屏蔽门经 4

个月老化后,门的平均屏蔽效能约下降 15dB。这主要是由于在簧片上产生沉积物,增加了接触电阻。为了确定这种屏蔽效能变化是否可逆,将门的所有接触部分用洁润剂再进行清洗处理。清洗后,门的屏蔽效能明显提高。

B. 13.2 潮湿环境影响

潮湿环境对门的屏蔽效能影响很大,潮湿对屏蔽效能下降了。

B. 13.3 周期性维护

对铍铜合金簧片接触的屏蔽门,用洁润剂在接触部分进行清洗维护,可保持其性能、不致恶化、在正常情况下,若进行周期性维护,可使簧片保持 4a 至 5a,无需更换。在恶劣潮湿环境条件下,应尽可能保持门的接触部分干燥,定期用洁润剂清洗。一旦发现簧片接触处出现白色沉积物,应将簧片更换。

附录 C
(资料性附录)
雷电防护基本技术知识

C.1 雷电的破坏作用和避雷

C.1.1 雷电的破坏作用

雷电流也是电流,它具有电流所具有的一切效应,不同的是它在短时间内以脉冲的形式通过强大的电流;尤其是直击雷,它的峰值有几十千安培,乃至几百千安培。它的峰值时间,通常负闪击只有几微秒,正闪击较长些。

C.1.1.1 雷电流热效应的破坏作用

强大的雷电流通过被雷击的物体时会发热。由于雷电流很大,通过的时间又短,如果雷电击在树木或建筑物构件上,被雷击的物体瞬间将产生大量热,又来不及散发,以致物体内部的水份大量变成蒸汽,并迅速膨胀,产生巨大的爆炸,当雷电流通过金属体时,如果金属体的截面积不够大时,可使其溶化。与雷电通道直接接触的金属因高温而熔化的可能性很大,因为通道的温度可高达 $6000^{\circ}\text{C} \sim 10000^{\circ}\text{C}$,甚至更高。因此在雷电流通道上遇到易燃物质,能引起火灾。

C.1.1.2 雷电流冲击波的破坏作用

雷电通道的温度高达 10000°C ,空气受热急剧膨胀并以超声速度向四周扩散,其外围附近的冷空气被强烈压缩,形成“激波”。这种“激波”在空气中传播会使其附近的建筑物、人等受到破坏和伤亡。这种冲击波的破坏作用就跟炸弹爆炸时附近的物体和人受损害一样。

C.1.1.3 雷电流电动力的破坏作用

在载流导体周围存在磁场,在磁场里的载流导体受到电磁力的作用。如果导线 A、B 都有电流,那么导线 A 的电流会在它的周围产生磁场,而导线 B 在导线 A 所产生的磁场将受到电磁力的作用。这样两根载流导体相互间的作用力存在,我们把这种作用力叫作电动力。由安培定律推导可知,凡拐弯的导体或金属构件,在拐弯部分将受到电力作用,它们之间的夹角越小,受到的电动力越大。当拐变的夹角为锐角时受到作用力最大。故接闪器及其引下线不应出现锐角的拐弯,尽可能不采用拐弯,在不得已采用直角拐弯时应加强构件强度,尤其是避雷引下线一般应尽可能采用弧形拐弯,俗称“软连接”;这样可使构件受到的应力较小,而且不集中在一点,雷击造成的损失就相对小些。

C.1.1.4 雷电的静电感应和电磁感应的破坏作用

雷电的静电感应和电磁感应的破坏作用如下:

- a) 静电感应,带电的雷云出现时,雷云下的地面及建筑物等,都由于静电感应的作用而带上相反的电荷,由于从雷云的出现到发生雷击(主放电)所需要的时间相对于主放电过程的时间要长得多,因此大地可以有充分的时间积累大量电荷;局部地区感应高电压在高压架空线路可达 $300\text{kV} \sim 400\text{kV}$,一般低压架空线路可达 100kV ;通信线路可达 $40\text{kV} \sim 60\text{kV}$,建筑物也可以产生相当高的危险电压;这种由静电感应产生的过电压对接地不良的通信系统有破坏作用,对于建筑物内部的金属构架与接地不良的金属器件之间容易发生火花;
- b) 电磁感应,雷电流有极大峰值和陡度,在它周围有强大变化的电磁场,电磁场中的导体会感应出较大的电动势。由雷电引起的静电感应和电磁感应统称为感应雷,又叫二次雷,有一定的危险。为了防止感应雷高电压发生,应将建筑物的金属屋顶、建筑物内的大型金属物品等,给以良好的接地处理,以便感应电荷能迅速地流向大地。对较大的缺口金属环,应用金属将缺口处连成闭合环,防止在缺口处形成高电压和放电火花;
- c) 感应雷没有直击雷那么猛烈,但它发生的几率比直击雷高得多。因为直击雷只发生在雷云对地

闪击,或者雷云对雷云之间闪击,都可能发生并造成灾害。直击雷一次只能袭击一两个小范围的目标,而一次雷闪击可以在比较大范围内多个小局部同时发生感应雷电压现象,并且这种感应高电压可以通过电力线、电话线等金属导线传输到很远,致使雷害范围扩大。

C.1.1.5 雷电反击和引入高电位

雷电反击通常是指接受直击雷的金属体(包括接闪器、接地引线和接地体),在接闪瞬间与大地间存在很高的电压 U ,电压对与大地连接的其他金属物品发生闪击(又叫逆闪络)的现象称为反击。由于雷电电压的大小是在很大范围变化的,为了使各种建筑物能有效地防止雷电反击,在具体做法上各国都有不同的要求。在规范中对不同种类建筑物的间隙距离分别作明确规定。在因为条件限制而无法达到所规定的间隔尺寸时,应把避雷引线与金属体用金属导线连接起来,使它们成为等位体而避免发生闪击。对房屋周围的高大树木都应留有足够距离,以免树木与房屋间发生雷电反击。

雷电引入高电位是指直击雷或感应雷从输电线、通信电缆、无线电天线等金属的引入线引入建筑物内,发生闪击而造成的雷击事故。这种事故的发生率很高,而且往往事故严重。直击雷电压低则几百万伏,高则几千万伏,甚至更高,即使感应雷往往也有几伏乃至几十万伏,雷击电流往往是几十千安培,甚至几百千安培。它会产生大的破坏力。雷电流的波头一般只有几微秒,波尾也只有几十微秒。它只是一个短暂的随机波。由付里叶变换可知,它包含丰富的高次谐波。高电位沿导线输入是用电设备被雷击的原因,高电位输入造成的雷击事故,占雷击事故的大多数,所以凡是有用电装置的地方,都应对高电位输入加以防备。

C.2 直击雷的防范措施

直击雷的防范措施如下:

- a) 雷云对大地的电压低则几百万伏,高则数千万伏甚至更高,雷云对大地一次闪击放电的峰值电流平均为 30 多千安培,它的瞬时功率为 $10^9\text{W} \sim 10^{12}\text{W}$ 以上,由于瞬时功率很大,所以它的破坏力是相当大的;
- b) 防直击雷都是采用避雷针、避雷带、避雷线、避雷网作为接闪器,把雷电流接收下来,然后通过良好的接地装置迅速而安全地把雷电流送回大地。所有的避雷装置都只是把雷击的几率和强度大大地降低,百分之百可靠的避雷装置即使能做到,造价也是十分昂贵的;
- c) 常用的接闪装置,如避雷针、避雷带、避雷线、避雷网等,它们都是金属的,安装在建筑物的最高点,如屋脊或屋角等最易受雷击的地方。避雷网是用金属线造成的网,架在建筑物顶部空间,然后用截面积足够大的金属物让它与大地连接;
- d) 当高空出现雷云的时候,大地上由于静电感应作用,必然带上与雷云相反的电荷,然而接闪设备(避雷针、避雷带、避雷线、避雷网等)都处于地面上建筑物的最高处,与雷云的距离最近,而且与大地有良好的电气连接,所以它与大地有相同的电位、以致接闪设备附近空间电场强度相对比较大,比较容易吸引雷电先驱,使主放电集中到它上面,因而在它附近尤其是比它低的物体受雷击的几率就大大减少。而接闪器被雷击的几率却大大提高,所以就接闪器本身而言,它不但不能避免雷击,相反会招来更多的雷击,它以自身多受雷击而使周围免受雷击;
- e) 由于接闪器都与大地有良好的电气连接,使大地积存的电荷能量迅速与雷云的电荷中和,这样由雷击而造成的过电压的时间大大地缩短,雷击危害性就大大减少;
- f) 雷电流源的电阻包括主放电通道的电阻,大约几千欧,如果我们把带电的雷云当作电源,接闪器到大地看作是负载。那么,放电的时候就相当于一个有几千欧姆内阻的电源,与一个仅有几欧姆的接地电阻和少许引线阻抗的负载连接。这电源一般为几百万到几千万伏,甚至更高。雷击时接闪器对入地的电压就是雷云的电压,在雷云内阻与接地电阻的分压,接地电阻越小,其分压值越小,相对来讲就越安全。所以,理论上要求避雷装置接地电阻越小越好,但是如果要求做到接地电阻很小,势必造价很高。工程上往往只要求做到足够安全范围即可。

C.3 避雷针保护范围

C.3.1 滚球法,是指某一定半径的球体,在装有接闪器的建筑物上滚过,滚球被建筑物上所装的接闪器撑起,这时球体的弧与建筑物之间的范围。“滚球法”是国际电工委员会(IEC)推荐的接闪器保护范围计算方法;已被世界上一些国家作为国家防雷规范用,我国建筑防雷规范 GB 50057—94 也采纳“滚球法”作接闪器保护范围计算的方法。

根据建筑物被雷击后引起后果的严重程度,把建筑物分为三大类型,分别选择从 30m~60m 不同半径的滚球予以计算。单支避雷针、双支等高避雷针和双支不等高避雷针的保护,也有多只等高避雷针和不等高避雷针的保护。

C.3.2 折线法,即单支避雷针的保护范围为一折线圆锥体。

C.3.3 曲线法,即单支避雷针的保护范围为一曲线锥体。

C.3.4 直线法,避雷针的保护范围是以避雷针的针尖为顶点作一俯角的角度来确定,如有爆炸危险的建筑物用 45°角,对一般建筑物采用 60°角。由于用角度确定避雷针的保护范围,实质上保护范围为一圆锥体,我们把它叫做直线法。

C.4 避雷线保护范围的计算

由于重力的作用,避雷线是一段垂弧。其保护效果等同于在弧重上每一点都是一根等高的避雷针。故只需确定待计算点的垂弧高度,便可按单支针计算其两侧的保护范围。同样,在避雷线的端部保护范围,则按避雷线端部的等高单支针计算。多只避雷线计算相同。

C.5 防直击雷的接闪装置

C.5.1 直击雷的避雷装置组成

直击雷的避雷装置由接闪器、引下线和接地装置三部分组成:

- 接闪器是指避雷针、避雷带、避雷网、架空避雷线的直接接受雷击部分,以及作接闪的金属屋面和金属构件等。而引下线是指连接接闪器与接地装置的金属体;
- 接闪器和引下线的结构设计最根本的目的是为了保证接闪器与大地之间有良好的连接;保证连接线路有足够大的截面积,防止雷电流通过时引起熔断,或温度过高而引起火灾;保证连接线路有合理的结构,防止电动力的破坏,防止避雷装置的高电位对建筑物的反击;
- 根据使用避雷装置的实践经验证明,凡设计正确并合理地安装了避雷装置的建筑物,都很少发生雷害事故。

C.5.2 接闪器组成

接闪器应由下列一种或多种组成:

- 独立避雷针;
- 架空避雷线或架空避雷网;
- 直接装设在建筑物上的避雷针、避雷带或避雷网;接闪器每隔不大于 20m 应接引下线与大地连接。

C.5.3 接闪器布置

接闪器布置应符合表 C.1 的规定。

C.5.4 建筑物易受雷击部位及重点保护

C.5.4.1 建筑物易受雷击的部位

建筑物易受雷击的部位如下:

- 平屋面或坡度不大于 0.1 的屋面——檐角、女儿墙、屋檐;
- 坡度大于 0.1 且小于 0.5 的屋面——屋角、屋脊、檐角、屋檐;

- c) 坡度大于 0.5 的屋面——屋角、屋脊、檐角。在屋脊有避雷带的情况下,当屋檐处于屋脊避雷带的保护范围内时,屋檐上可不设避雷带。

表 C.1 接闪器布置

建筑物防雷类别	滚球半径	避雷网网格尺寸
	m	m
第一类防雷建筑物	30	<5×5 或 <6×4
第二类防雷建筑物	45	<10×10 或 <12×8
第三类防雷建筑物	60	<20×20 或 <24×16

C.5.4.2 重点保护

重点保护要求:

- 根据建筑物易受雷击部位的规律,可采取重点保护的方式;
- 重点保护方式是根据雷击规律而采用相应的雷电保护方式。

C.5.4.3 一般建筑物

一般建筑物的保护部位:

- 建筑物的屋角与檐角应加以保护;
- 平顶房屋的屋角和四周女儿墙,无女儿墙的应该是屋顶的四周都在保护范围内;
- 一般坡顶建筑物高度小于 16m,宽度不大于 21m,屋顶坡度不小于 27°,在雷电活动不特别强的地方,可以仅对屋角、檐角、屋檐进行保护;
- 对屋顶上的特殊突出结构,应另采取保护措施。

C.5.5 避雷带和避雷网

C.5.5.1 避雷带

避雷带是指在平顶房子屋顶四周的女儿墙或坡顶屋的屋脊、屋檐上装上金属带作接闪器,并把它与大地良好连接,即可得到好的避雷效果。

C.5.5.2 避雷网

避雷网是指利用钢筋混凝土结构中的钢筋网进行雷电保护,必要时还可加辅助避雷网。所以又叫做暗装避雷网。

避雷网主要是根据电学中的法拉第笼的原理。我们知道当鸟儿站在架空的裸电线上时,不论电压多高,都不会被电死,当人与大地隔离时,可以带电修理超高压电线,这说明当人体的电位与带电体电位相同时,是不会有触电危险的。如果把导体放在金属笼内再将金属笼接以高电位。则笼内的导体也不会出现反击现象。

在钢筋混凝土建筑,梁、柱、墙和每层楼的楼板都由钢筋骨架构成,只要每层楼的楼板(包括顶棚)内的钢筋都有可靠的电气连接,并把它与大地作良好的电气连接,这样,整座建筑物就成为一个可靠的等电位体。也就是可靠的暗装避雷网。从安全的角度讲,暗装避雷网要比其他避雷设施更为有效。而且由于利用了现成的钢筋作避雷装置,既节约了投资、又保持了建筑物完美的造型。

C.5.6 避雷带和避雷网的结构设计和安装

避雷带和避雷网的结构设计和安装要求如下:

- 避雷带和避雷网一般采用圆钢或扁钢,其尺寸不应小于下列数值:
 - 圆钢直径为 8mm,扁钢截面积为 48mm²,扁钢厚度为 4mm;
 - 避雷线一般采用截面不小于 35mm² 的镀锌钢绞线架设。
- 避雷带及其连接线经过沉降沟时,应有 10cm~20cm 以上的伸缩裕度的跨越线;
- 有女儿墙的平顶房屋,其宽度小于 24m 时,只须沿女儿墙上部敷设避雷带;宽度大于 24m 时,须

在屋面上两条避雷带之间加装明装连接条,连接条的间距不大于 20m;

- d) 无女儿墙的平顶房屋,其宽度小于 20m 时,只在屋檐上装避雷带;宽度大于 20m 时,需在屋面上加装明装连接条,连接条间距不大于 20m;
- e) 瓦顶房屋面坡度为 27 度~35 度,长度不超过 75m 时,只沿屋脊敷设避雷带。四坡顶房屋,应在各坡脊上装上避雷带。为使檐角得到保护,应在屋角上装短避雷针或将避雷带的引下线从檐角上绕下。如果屋檐高度高于 12m,且长度大于 75m 时,要在屋脊和屋檐上都敷设避雷带;
- f) 当顶面积非常大时,应敷设金属网格,即避雷网,避雷网分明网和暗网,网格越密,可靠性越好,网格的密度视建筑物重要程度而定,重要建筑物采用 5m×5m 的密网格,一般建筑物用 20m×20m 的网格即可;
- g) 在非混凝土结构的建筑物上,可采用明装避雷网。做法是首先在屋脊、屋檐等到顶的突出边缘部分装设避雷带主网,再在主网上加搭辅助网,避雷网格大小按上述要求;
- h) 采用避雷带和避雷网保护时,屋顶上的烟囱、混凝土女儿墙、排气楼、天窗及建筑装饰等突出于屋顶上部的结构物和其他突出部分,都要装设短避雷针或避雷带保护或暗装防护线,并连接到就近避雷带或避雷网上。对金属旗杆、钢爬梯、风帽、透气管等应与就近的避雷带、避雷网焊接;
- i) 采用避雷带和避雷网保护时,每一座房屋至少有两根引下线(投影面积小于 50m² 的建筑物可只用一根)。避雷引下线最好对称布置,四根引下线要做成“工”字形,引下线间距离不应大于 20m,当大于 20m 时,应在中间多引一根引下线。

C.5.7 引下线的设计

引下线的设计要求如下:

- a) 引下线一般采用圆钢或扁钢,其尺寸不小于下列数值:
 - 1) 圆钢直径为 8mm,扁钢截面为 48mm²;
 - 2) 装在烟囱上的引下线,圆钢直径为 12mm;
- b) 引下线的固定支撑点,间隔不得大于 1.5m~2m,引下线的敷设应保持一定的松紧度,不能拉得太紧,以免由于热胀冷缩而损坏;
- c) 接口到接地体,引下线的敷设越短越直越好,建筑物的造型不同,不能做到直线引下时,应注意弯曲开口处两点间的直线距离大于弯曲部分线段的实际长度的 0.1 倍,一般弯曲处不用锐角,并尽量避免用直角;
- d) 引下线应装在人不易碰到的隐蔽地点,以防止接触电压的危害;
- e) 距离地面 2m 以内的引下线,应有良好的保护覆盖物;
- f) 墙壁较厚的建筑物,可把引下线抹在墙里,也可以把引下线放在伸缩缝中,做成暗装引下线,但这时引下线若采用圆钢直径不小于 12mm;若采用扁钢截面积应不小于 100mm²,厚度不小于 4mm;
- g) 为了便于检查避雷设施连接导线的导电情况和接地体的散流电阻,应在每根引下线上做断接卡子。

C.6 整体防护体系

C.6.1 搭接

“搭接”,或称为“均衡连接”。就是把各种金属物用粗的铜线焊接起来,或把它们直接焊接起来,以保证等电位。完善的等电位连接,也可以消除因地电位骤然升高而产生的“反击”现象,微波站天线塔遭到雷击常常遇到。

C.6.2 传导

我们称之为避雷针的装置,“闪电导体”,避雷针就是一个接地的金属装置,高端比建筑物顶端更高,吸引闪电,把闪电的强大电流传导到大地中去,从而防止闪电电流经过建筑物。吸引和接受闪电的部

分,通常被称为接闪器,也可以是粗的金属棒,也可也是横卧的金属带、或者金属线组成的网,也可以在建筑物旁另立一个金属构件组成的高塔。总之,其作用相同,都是供传导闪电电流入地,不让闪电跑到建筑物上去,它是防直击雷的主要手段。

C.6.3 分流

它的做法是:凡是从室外来的导线(包括电力电源线、电话线、信号线或者这类电缆的金属外套等)都要并联一种避雷器至接地线。不仅是在入户处,在每个需要作防雷保护的仪器设备的机壳处都要装。它的作用是把导线传入的过电压波在避雷器处经避雷器分流入地,也就是类似于把雷电流的所有入侵通道堵截了,而且不只一级堵截,可以多级堵截。过电压对设备的绝缘造成极大的危害,常常引起电气设备,特别是微电子设备的损坏事故。故障通常发生在线路与设备相连的接口,一般的屏蔽措施无法消除雷电过电压的侵害,因此还须采取相应的防护措施将侵入设备内的过电压限制在安全的、设备能够承受的绝缘范围之内。

C.6.4 接地

从上面三个措施看,都涉及到闪电能量的入地,接地妥当与否,成为防雷技术特别受重视的项目,各种防雷规范都作出明确的规定。它又是最费工、费钱、费力的防雷措施,是防雷工程的重点和难点,避雷装置安全检测的主要工作就是围绕它的。接地是分流和防直接雷击和雷电电磁干扰能量的最有效手段之一。没有接地装置或者接地不良的避雷设施就成了引雷入室的祸患;而避雷装置接地不好又很可能提供了雷电电磁辐射干扰对落雷点附近电气和电子设备的电感性、电容性等干扰耦合发生的机会。防雷接地的目的就是把雷电流通过低电阻的接地体向大地泄放。

C.6.5 屏蔽

就是用金属网、箔、壳、管等导体把需保护的物体包围起来,从物理上说,就是把闪电的脉冲电磁场从空间入侵的通道阻隔起来,力求“无隙可钻”。显然,这种屏蔽作用不是绝对的,需要考虑实际情况和依据经济原则来选择,还要估计到直击雷的能量所造成的熔穿破坏的概率,确定屏蔽材料的厚度等等。各种屏蔽都应接地,是一个有机联系的整体防卫体系,全面实施才能达到万无一失的效果。屏蔽种类如下:

- a) 静电屏蔽,静电屏蔽是为了消除和抑制静电场的干扰;
- b) 磁场屏蔽,磁场屏蔽是为了消除或抑制由磁场耦合引导起的干扰;
- c) 高频磁场屏蔽,屏蔽体内的涡流越大,屏蔽效果就越好,因此,高频磁场屏蔽一般应选用良导体材料作为磁屏蔽体,如铜、铝等,由于高频磁场感应的涡电流在导体表面层产生趋肤效应,因此,高频磁场屏蔽体壳选用薄金属材料就可满足屏蔽要求;
- d) 电磁场屏蔽,一般在远离干扰源的空间单纯的电场或磁场是少见的,干扰是以电场、磁场同时存在的高频电磁场辐射的形式发生的;在远场条件下,不管干扰源性质如何,都可看作平面电磁波传播,电场分量和磁场分量同时存在,因此,应同时考虑电场和磁场的屏蔽,雷电电磁脉冲在远场条件下可看作平面电磁场传播,应采用电磁屏蔽。

C.6.6 躲

雷电的危害,选址时就要考虑“躲”的措施。通信干线和台站及微波站的选址需要“躲”开多雷区或易落雷的地点。为此需要事前作好勘察调查工作。“躲”、“等电位连结”、“传导”、“分流”、“消雷”、“接地”和“屏蔽”要综合考虑。

C.7 防雷技术设备

C.7.1 火花隙

火花隙,或称保护间隙,这是简单而原始的避雷器。它最原始的形式就是二个金属尖端,一个接地,另一个接在被保护的线路上,两尖端的间距由所需要的额定电压值确定,过电压波到达该点处,电压上升到空气的击穿电压值时,空气被击穿,就发生火花放电,甚至产生电弧,这时雷电流就在此处分流入地。

C.7.2 管型避雷器

管型避雷器,常用GB表示,它是一种改进以后放在管状外壳内的火花隙。多用于电力输送网的线路保护上,与火花隙一样,有不少缺点。

C.7.3 气体放电管

气体放电管,用于弱电设备防雷上。与以上用于强电系统的防雷有所不同,其差别是在于工作电压,前面说的管型避雷器大都用在变电所等进线处,工作电压是工频高压,续流很大,而气体放电管从物理上看,也是放在管内的火花隙,但体积小,接在电子设备的线路上,工作电压低。可分为二极管、三极管、五极管等。常用的放电管的冲击击穿电压在1kV左右($1\text{kV}/\mu\text{s}$),其突出优点是耐流能力较大,可达20kA,稳定,较适用于高频多路通信设备,作第一级或第二级保护元件。

C.7.4 阀型避雷器

阀型避雷器,它是由非线性电阻元件(又称阀片)串联而成。

C.7.5 压敏电阻

压敏电阻,广泛用于电子电路中,也可以用于弱电系统的防雷中作为避雷器。它的响应速度可达毫秒级,冲击容量可达10kA($8/20\mu\text{s}$)。在恒定电压的地方,有一定的漏电流,如产品质量不好,则漏电流会逐渐增大甚至损坏,而且随着漏电流的增大,残压也会增高。

C.7.6 半导体二极管

半导体二极管,包括齐纳二极管、开关二极管和瞬态二极管。它们的性能大致相同,在限幅电压等级和耐冲击能力上稍有差异,最大优点是响应速度快(毫秒级)、限幅电压低,最适于放在末几级保护半导体电路,因其致命的弱点是耐流能力低。瞬态二极管克服了这一弱点,耐流能力大大提高,可以用到第二级甚至第一级保护上。

C.7.7 正温度系数热敏电阻(PTC)

正温度系数热敏电阻,它主要用在限制电流的剧增上,串联在被保护的器件的电路中,与上述几种避雷器组合起来使用。

C.7.8 高压电容器

高压电容器,它并联在过电压波通过的线路与大地之间,也可以把闪电的脉冲电流分流入地,有的采用它与电抗线圈配合,构成防雷滤波器。

C.7.9 波导分流型避雷器

波导分流型避雷器,通信系统高科技设备的防雷实践中已取得成功,受到广泛的欢迎和采用,解决了前面八种避雷器所无法解决的高科技设备防雷难题。

C.7.10 ZnO 压敏电阻避雷器

ZnO 压敏电阻避雷器是最为广泛采用的防雷产品,并与放电管并联或串联组成复合避雷器,有很多优点,多用在电源线路避雷上。而在信号线路上就显出诸多不足,在高频应用下,为防止并联的避雷器对信号的严重衰减,要求电容很小,这就要求避雷器的体积缩小,它就难以承受雷电的功率,这一矛盾是难以解决的。在强电系统防雷中不会出现这种矛盾,而在弱电系统应考虑防雷器件的插入不能影响高科技设备的工作性能,这是以往防雷工程中没有遇到的新问题。

C.7.11 不同的保护对象要选用不同的避雷器

充分利用现代大楼建筑物本身的结构,把避雷装置与建筑物本身完美地结合为一个整体,实现了“法拉第笼”防雷的理想,既有最佳的防雷效果,又经济、牢固持久和美观,常称这一整体避雷装置为“笼式避雷网”。它利用四周墙面内的钢筋作引下线,利用地下的钢筋混凝土基础作为接地体。在大楼设计和施工时就要考虑到作为网状接闪器、引下线和接地体的钢筋网络之间的电气连接;所以大都在楼顶四周设置避雷带,它与建筑物内的钢筋引下线焊接好,成为笼式避雷网的一部分。各种楼顶上的金属物都用粗导体与避雷带牢固焊接起来。

这种笼式防雷网的防雷优点主要有:

- a) 在引雷保护方面避免了“绕击”的危险,不怕闪电侧击建筑物,而避雷针、消雷器则不能;

- b) 它可以起“法拉第笼”的屏蔽作用,虽不能完全阻隔闪电的脉冲电磁场,但已大大削弱了它,对于弱雷、远处的落地雷的电磁场可以起较好的屏蔽效果;
- c) 均压作用,它在不同高度处都配设均压环,把各层楼的金属管线等导体物与均压环作电气连接,保持电位均衡,近似处处电位相等,人和设备不论在哪一楼层,都不会遇到“反击”或者旁侧闪击的危险;
- d) 削弱直击雷的雷电电磁脉冲,雷击电流沿引下线入地时,闪电电流在四周产生很强的脉冲电磁场,是避雷针的一个很大的缺点,笼式避雷网的引下线是为数极多的墙面构件内的钢筋,每条钢筋分配到的闪电电流就少得多了,大楼的面积又大,所以室内电子设备所受到的脉冲电磁场就大大减弱了;
- e) 接地体是分布在地下四周的混凝土基础,可以形成均匀分布的均压网,与大地的接触面广,接地电阻降低,而且钢筋得到混凝土的保护,受到的侵蚀作用减少,接地电阻比较稳定持久。

C.7.12 拦截闪电

避雷针的装置其实是避雷装置的接闪器。避雷装置由接闪器、引下线和接地体三部分组成。高建筑物(包括建筑物顶上的避雷针)吸引雷电的半径 r_a 。相关的面积与建筑物高度的关系见表 C.2。从表 C.2 中可以看出,避雷针愈高其保护效果不如短针的保护率大,所以在大范围防雷面积的情况下常用多针保护方式,或者就改用避雷带更为妥当。除了避雷针的保护范围这个重要问题外,还要仔细考虑引下线的设备和接地的的问题。引下线上很大的雷电流会对附近接地的设备、金属管道、电源线等产生反击或旁侧闪击。接地电阻的大小对侧击有很大重要性;单根引下线是不行的,不论如何布设,都很容易产生侧击,因此要设多条引下线,利用建筑大量钢筋作引下线就好得多。

表 C.2 吸引雷电的半径与建筑物高度的关系

单位为米

高 度	吸 引 半 径
25	小于 150
50	150~250
100	250~350
150	350~400
>150	大于 400

C.7.13 接地电阻

接地电阻是所谓的大地电阻,接地电阻的含意是:以接地体的顶尖为一端,而另一端则是大地的无穷远处。其它是两部分电阻之和,第一部分是接地体金属物的电阻,第二部分是整个大地的电阻,后一部分电阻常被称为流散电阻,或称散流电阻。接地电阻实际上决定于流散电阻,因为金属接地体的电阻很小。

如果地基下是电阻率较高的岩石地区,为减少接地电阻,需要加大接地体的尺寸,主要是增加水平接地体的长度或埋设的深度。接地体加长时,有时其自身的电感增大,反而会增大接地阻抗。因此改用降低地基下大地的电阻率的办法可能较为经济有效。

接地是极为重要而又复杂的问题。接地装置的优劣不仅与接地电阻值(土壤电阻率)有关,还与接地方式有关;此外,还应正确处理各种接地的关系,微电子系统的接地还需要考虑到防电磁干扰问题。接地装置应按接地目的而不是按接地电阻值设计是一条基本原则,系统正常工作是经常性需求,而安全保护则是应付突发偶然事件的,二者需合理兼顾。实际工作中由于建筑物内的各种电子系统不可能是同期设计安装,因此,认真调查、分析接地现状十分重要。没有完善的接地,LPS 就会变成“空中楼阁”。顺便指出,实际工作中 LPS 安全检测往往只测接地电阻值就下结论是很不科学的,仅就接地部分而言,了解各种接地关系是如何处理的、接地方式的设计都是十分必要的。

C.8 雷电电磁脉冲防护

C.8.1 防护对象

任何一个现代防雷工程所考虑到的防护对象有三:建筑、人和设备。它所对付的自然祸害分两方面,即空电的直击建筑物和闪电的电磁脉冲对建筑物、人和设备的袭击;第一方面主要靠建筑物的避雷装置。第二方面就是雷电电磁脉冲(LEMP),后者涉及的防雷范围、措施要广泛复杂得多,而且与第一方面有不可分割的联系,既有合作,又有分工,考虑的角度和方法不同。

C.8.2 防雷保护划分区

把防雷保护划分几个区,层层设防,分别考虑,即能确保安全,又经济有效。

- a) 凡是闪电直击地区都属于0区,具体说,凡是设置避雷装置的建筑物之外的空间,架空输电网的避雷线以上的空间,或者地下电缆金属屏蔽或铁管以外的区域,都属于0区,这个区域的闪电危害最严重,除强大的直击雷的高电压(大电流)外,还有闪电袭击架空金属线或地下金属管道等产生的过电压波、感应雷过电压波、脉冲电磁场等等;
- b) 在0区防雷的措施有四种:第一种是主动出击,把雷电能量耗损掉,如用飞机撒播金属箔条雷雨云,或者发拖有金属线的小火箭引发闪电;第二种是被动引雷入地,把雷电的能量泄放入地,那就是避雷针、避雷线、避雷网等避雷装置;第三种是把沿金属管线传播的过电压波拦截并泄放入地,这些设备都应有相当大的容量,能传送足够大的峰值电流入地而自身不致毁坏;第四种是各种设备屏蔽,如建筑楼房的笼式避雷网,用金属箔或网在局部或大型设备屏蔽;
- c) 在上述的屏蔽物和装有分流雷电流入地的避雷器的线路内的空间被称为1区,在1区不存在直击雷和强大的过电压波的浸入,闪电的脉冲电磁场也得到一定程度的削弱,这时的防雷措施只有二种:一种是加屏蔽,特别敏感的仪器在特别建造的屏蔽室内工作;另一种是在仪器设备的输入线路端和电源线路加装各种规格的避雷器;当然进入屏蔽室的所有线路也应装设避雷器;在1区内的避雷器的电压和功率容量都比0区大大降低了;
- d) 在上述这种特殊的屏蔽室内、或者装有了避雷器的仪器金属壳内则是2区;在2区内LEMP再度削弱,但某些非常灵敏的仪器仪表仍会受到LEMP的作用而产生误动作,所以还需要在仪器线路中插入避雷器,当然这只需要比较低的工作电压和容量的元件,组成第三、第四级防护;
- e) 除了建筑物和室外的人身防雷之外,其它的种种防雷都属于LEMP;通信系统的防雷工作其实大部分是属于LEMP,是0区范围的LEMP,它是强电磁脉冲的防护,除了0区处,1区的LEMP成为很重要的部分,这与微电子技术的迅速发展和应用是分不开的;微波通信、数字通信设备和计算机的大量应用,1区甚至2区的LEMP上升为很重要的部分,凡是1区、2区的防雷基本上是属于弱电系统的防雷。

C.8.3 计算机和其它微电子通信设备的LEMP

一定运用LEMP的基本原则,完善1区或2区LEMP措施,要立足于实用参数来考虑它的屏蔽和避雷器的选用,要考虑避雷器的响应时间的快慢,LEMP防护是一项正在发展中的新技术,通信微电子设备对LEMP干扰的防护与电磁兼容问题密切相关,因电磁干扰引起通信微电子设备误动作的问题十分复杂,过电压波的防护问题很重要;此外,业务大楼内的通信、计算机等设备遭直击雷的概率很小,LEMP引起过电压波的问题一般不考虑直击雷的因素,重点是与外线连接的含有固态元件的通信微电子设备的防护。因为连接了外线,LEMP才会进入设备内部或雷电经接地装置入地时引起地电位升高而反击设备。保护设计首先要弄清楚LEMP可能进入的路径,如天馈线路,网络信号线路、电源线路及接地线路等;其次要合理布线,采取屏蔽、阻断等措施。在通信电子系统建设时同步考虑,是LPS建设应遵循的一条原则。

C.8.4 雷电电磁脉冲干扰源

C.8.4.1 电磁干扰源分类

电磁干扰源一般分为如下两大类：

- a) 人为干扰源,主要有如下几种:微波设备如高功率微波发射机等通信设备、雷达等辐射的电磁干扰;高压和开关以及功率设备,如高压电、大功率脉冲设备、各种脉冲发生器、继电器、弧焊机、感应开关等所产生的无线电干扰;火花设备如高压点火脉冲装置、手电钻、汽车点火设备、吸尘器 etc 等产生的瞬时干扰;电子设备靠近静电荷的物体时会产生静电放电,干扰设备运行甚至损坏设备;计算机等电子设备和系统本身也向外辐射电磁干扰信号,在电子设备内部电路中所有元器件和导线都流过大小不等的电流,周围就存在电场和磁场,变化电场产生瞬变磁场,计算机以高速度变化的脉冲形式工作,每根导线和元器件周围都存在变化的电磁场,从而形成计算机内部和设备间的电磁干扰场;
- b) 自然干扰源,主要有雷电放电,在计算机和电子设备的外部电磁干扰中,雷电是常见的大气层中强电磁干扰源,云地闪电放电的峰值电流高达几百千安,电流上升时间仅为几个微秒,持续时间为毫秒到微秒的量级,闪电放电所辐射的电压频率为 0Hz~100kHz,可传播至很远距离。

C.8.4.2 雷电电磁干扰

雷电电磁干扰主要通过两种方式传送到被干扰对象：

- a) 传导耦合,闪电干扰通过各种导线、金属体、电阻、电感及电容等阻抗耦合至电子设备的输入端,然后再进入设备;还可以通过公共接地阻抗和公共电源耦合;传导耦合分以下几种:
 - 1) 传导阻抗耦合;
 - 2) 静电感应耦合,为防止静电感应电压的危害,应将建筑物的金属屋顶、高层建筑物上的各类金属物体以及房屋内的大型金属物品、金属管道等全部良好接地,架空线路上感应过电压的要加强防护措施;
 - 3) 电磁感应耦合,为了消除或减少感应电压引起的灾害,应该将建筑物内的相互靠近的金属物体作良好的电气连接;设备器件中导体(导线)之间距离尽可能减少,另一保护措施是采用磁屏蔽方法,以减少回路中的磁场。由于电磁感应耦合主要是磁场作用,所以应尽可能采用高导磁率的屏蔽材料,一般采用铁管屏蔽管,电子设备进线电缆最好穿在铁管内,屏蔽效果会更好;
 - 4) 电容耦合。
- b) 辐射耦合,闪电电磁辐射通过空间以电磁场形式耦合到电子设备的天线上、电缆设备上,雷电干扰是造成通信计算机硬件损坏的主要根源之一,也是造成通信系统设备损坏的根本原因之一,由于雷电感应过电压波在通信线路上产生数千伏的感应过电压,使设备造成危害。辐射耦合是雷电电磁脉冲干扰能量通过空间并以电磁场形式耦合到接收器,具体的辐射耦合方式主要有空间电磁波至接收天线的耦合、空间电磁波对电缆的耦合、电缆对电缆耦合等;闪电放电时,先导放电阶段将出现高频和甚高频的电磁辐射,甚低频辐射大大增加,所有这些辐射能量要耦合到各类元器件的大量电气和电子设备内,以及有电缆设备向远距离传输的其他回路系统内,因此对这类设备的屏蔽、接地等防雷措施尤为重要。

C.8.4.3 雷电电磁脉冲

C.8.4.3.1 雷电放电从雷雨云密布到发生闪电放电的过程

雷电放电从雷雨云密布到发生闪电放电的整个过程中,几乎同时出现如下三种现象：

- a) 静电感应现象,雷雨云分布着大量负电荷,它们产生静电场,在雷雨云所覆盖的地表面和各类导体上便感应出与雷雨云底部电荷相反符号的电荷,这种静电感应作用随着距雷雨云正下方地面的距离增大而迅速减小,与该距离的三次方成反比;
- b) 电磁感应现象,闪电电流在闪电通道周围空间产生磁场,随时间变化的磁场就在附近的各类金属导体上激发感应电动势和感应电流;这种作用随距落雷点距离的增大而减少较快,与距离的平方成反比;

- c) 电磁波辐射,闪电放电电流随时间做非均匀变化,一次闪电由成千上万个脉冲组成,脉冲电流向外辐射电磁波,这种辐射虽然也随距离增大而减少,但是比较缓慢,它与距离的一次方成反比。

C.8.4.3.2 雷电电磁脉冲对计算机通信网络的干扰

通信微电子技术和计算机技术就是对信息进行收集、分析、加工、处理、存储、传输等功能的主体部分,通信微电子技术是以大规模集成电路为基础发展起来的,计算机的核心部件是集成电路,雷电电磁干扰影响通常是通过电路中极为敏感的集成电路引入的。最易受电磁干扰影响的器件 MOS 电路、A/D 和 D/A 运算放大器、存储器以及磁盘、磁带读写头放大器等。以 MOS 管为例,它的最大击穿电压约 50V,最大允许工作电流为 15mA,这些工作条件在遇有雷电电磁干扰时就糟了。雷电放电的感应电压进入电子线路,对半导体器件将有致命的危险,轻则引起计算机失误,重则烧毁元器件。微波站有的设于平原地区,有的设于高山上的微波站,机房建在山顶或山坡上;城市微波站多建于综合通信大楼的顶层。具有相当高度的微波塔,如果它的接地系统和进出电缆线防护未遵守有关防雷规范,就可能将雷电电磁干扰“引入”站内,“引入”设备内,这就增加了计算机等微电子设备遭受雷电电磁脉冲干扰而损坏的概率。

C.8.4.3.3 闪电脉冲放电电磁场对计算机的影响

闪电的电磁脉冲对计算机系统的安全造成了巨大威胁,而闪电对计算机的影响通常是通过电路中对电磁干扰最敏感的半导体元器件引入的。随高技术的发展,集成电路的功能集成度将不断增加,各电子设备受雷电电磁干扰的危险性也增多了,为此,应发展并提高对雷电电磁脉冲的防护理论与技术。

C.8.4.3.4 雷电电磁脉冲的防护原理与综合防雷技术

雷电电磁脉冲干扰的问题在现代高科技中,在现代军事技术中日益引起普遍的关注。为了排除电磁干扰,或把它的影响减到最小,雷电多渠道侵害地面建筑物和构筑物,因此有效的防雷保护不能只采用单一的防护措施,而应综合考虑雷电减灾的多种因素,采用相应的综合防雷技术和措施。

防雷保护应限制侵入室内和设备内的雷电过电压,还要尽量减小电子设备内的感应电压,以使其降低到绝缘水平之下。分区逐级防雷,可以降低对避雷器的参数要求,减少费用,提高可靠性。防雷是一个系统工程,它包括防止直接雷击、防止和抑制雷电电磁脉冲干扰的各种传输形式造成的危害。采取的统一防护措施概括为:拦截、屏蔽、均压、分流和接地等技术。

C.9 接地装置

C.9.1 概述

从避雷的角度讲,把接闪器与大地作良好的电气连接的装置称为接地装置。接地装置的作用是把雷云对接闪器闪击的电荷尽快地散逸到大地,使之与大地的异种电荷中和。

理想的接地装置(包括从接闪器到地面的引线)是没有电阻的。假如这样的装置存在,那么当雷击的时候,不论雷电流有多大,接地装置上任何一点对大地的电压都为零。这样的避雷系统对人来讲是绝对安全的。但是实际上,这样的接地装置是不存在的,正因为这样才引出很多关于接地的技术问题。

C.9.2 接地装置结构分析

接地是避雷技术最重要的环节,不管是直击雷、感应雷或其他形式的雷,最终都是把雷电流送入大地,因此,没有合理而良好的接地装置是不能可靠避雷的。

长期以来,人们有一个错觉,认为接地电阻越小避雷效果就越好,被保护的物体就越安全。当然避雷接地电阻值应该有一定的要求,因为接地电阻越小散流越快,被雷击物体高电位保持时间越短,危险性越小,其跨步电压、接触电压也越小。但是,近十几年来理论和实践证明,与其说接地网接地电阻值重要不如说接地网的结构更重要。

C.9.2.1 共用接地和独立接地

一座建筑物内有许多不同性质的电气设备,需要多个接地装置,如避雷接地、电气安全接地、交流电源工作接地、通信及计算机系统接地(直流感地,数字逻辑系统中叫逻辑接地)等。

C.9.2.2 一点接地

采用独立接地体的理由是要避免信号干扰和消除“噪音”。

C.9.2.3 环形接地和等电位连接

环形接地网就是把接地体沿建筑物周围围成一个闭合环,这样的接地网可以使到界面以内的电场分布比较均匀,减少跨步电压对人的危害,也减少室内在被雷击时由于地面电位梯度大而容易产生对设备高压反击的危险。

C.9.2.4 基础接地体的应用

基础接地体的应用存在各种不同的看法,有些认为,在基础内的钢筋被混凝土包住,就不可能与大地导通,事实上干燥的混凝土是很好的绝缘体。

C.9.3 土壤电阻率和接地电阻的计算

接地装置的作用是把雷电流从接闪器尽快地散逸到大地,因此对接地装置的要求是要有足够小的接地电阻和合理的布局。

C.9.3.1 土壤电阻率与温度湿度的关系

土壤电阻率 ρ 和它沿地层深度的变化规律是选择接地装置型式和决定它的尺寸的主要根据。土壤电阻率的数值与土壤的结构(黑土、粘土和沙土等),土质的稀密程度、湿度、温度等,以及土壤中含有可溶性的电解质(如酸、碱、盐等)有关。由于成份是多种多样的,因此不同土壤的土壤电阻率的数值往往差别很大。影响土壤电阻率的最主要因素是湿度。土壤电阻率也受温度的影响。

计算避雷接地装置时,应取雷雨季节中无雨水时最大的土壤电阻率,一般按公式(C.1)和(C.2)计算:

$$\rho_0 = \rho\Phi \dots\dots\dots (C.1)$$

$$R_0 = R\Phi \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:

ρ_0 ——计算电阻率;

ρ ——实测电阻率;

Φ ——季节系数;

R_0 ——计算电阻值;

R ——实测电阻值。

在计算接地电阻时,应考虑土壤干燥或冻结等季节变化的影响,从而使接地电阻在不同季节中均能保证达到所要求的值。但避雷接地装置的接地电阻,可只考虑在雷雨季节中土壤干燥状态的影响。实测的接地电阻值或土壤电阻率,要乘以表 C.3 所列季节系数 Φ_1 、 Φ_2 和或 Φ_3 进行修正。

表 C.3 各种性质土壤的季节系数

土壤性质	深度 m	Φ_1	Φ_2	Φ_3
粘 土	0.5~0.8	3	2	1.5
	0.8~3	2	1.5	1.4
陶 土	0~2	2.4	1.4	1.2
砂砾盖陶土	0~2	1.8	1.2	1.1
园 地	0~3		1.3	1.2
黄 沙	0~2	2.4	1.6	1.2
杂以黄沙的砂砾	0~2	1.5	1.3	1.2
泥 炭	0~2	1.4	1.1	1.0
石灰石	0~2	2.5	1.5	1.2

注: Φ_1 —土壤很潮湿时用; Φ_2 —具有中等含水量时用; Φ_3 —土壤干燥时用。

C.9.3.2 土壤电阻率参考值

当计算接地体的接地电阻时,应预先实测土壤电阻率,如无实测资料时,也可参考表 C.4 中所列数值。

表 C.4 土壤和水的电阻率参考值

类别	名称	电阻率近似值 $\Omega \cdot m$	电阻率的变化范围 $\Omega \cdot m$		
			较湿时(一般地区、多雨区)	较干时(少雨区、沙漠区)	地下水含盐碱时
土	陶粘土	10	5~20	10~100	3~10
	泥炭、泥灰岩、沼泽地	20	10~30	50~300	3~30
	捣碎的木炭	40			
	黑土、园田土、陶土、白垩土	50	30~100	300~500	10~30
	粘土	60	30~100	80~1000	10~30
	砂质粘土	100	30~300	250	30
	黄土	200	100~200	>1000	30~100
	含砂粘土、砂土	300	100~1000		
	河滩中的砂		300		
	煤		350		
	多石土壤	400			
	上层红色风化粘土、下层红色页岩	500(30%湿度)			
表层土夹石、下层砾石	600(15%湿度)				
砂	砂、砂砾	1000	250~1000	1000~2500	
	砂层深度大于 10m、地下水较深的草原 地面粘土深度不大于 1.5m、底层多岩石	1000			
岩石	砾石、碎石	5000			
	多岩山地	5000			
	花岗岩	200000			
混凝土	在水中	40~50			
	在湿土中	100~200			
	在干土中	500~1300			
	在干燥的大气中	12000~18000			
矿	金属矿石	0.01~1			
水	海水	1~5			
	湖水、池水	30			
	泥水、泥炭中的水	15~20			
	泉水	40~50			
	地下水	20~70			
	溪水	50~100			
	河水	30~280			
	污秽的水	300			
	蒸馏水	1000000			

C.9.4 改良土壤降低接地电阻的方法

在高土壤电阻率地区要求获得较低接地电阻的方法有以下几种。

C.9.4.1 换土

用电阻率较低的土壤(如粘土、黑土等)替换电阻率较高的土壤。

C.9.4.2 对土壤进行化学处理

这种方法中所需的化学物往往带有腐蚀性、且易流失,一般只是在不得已时才采用。常用的化学物有炉渣、木炭、氮肥渣、电石渣、石灰、食盐等。

C.9.4.3 利用长效降阻剂

长效降阻剂是由几种物质配制而成的化学降阻剂,具有导电性能好的强电解质和水份。这些强电解质和水份被网状胶体所包围,网状胶体的空格又被部分水解的胶体所填充,使它不致于随地下水和雨水而流失。因而能长期保持良好的导电作用。

C.9.4.4 深埋接地体

当地下深处的土壤或水电阻率较低时,可采用深埋接地体来降低接地电阻值。

C.9.4.5 污水引入

为了降低接地体周围土壤的电阻率,可将无腐蚀性的污水引到埋设接地体处。接地体采用钢管,在钢管上每隔 20mm 钻一个直径 5mm 的小孔,使水渗入土壤中。

C.9.4.6 深井接地

有条件时尚可采用深井接地。其做法是:用钻机钻孔,把钢管打入井内,再向钢管内和井内灌满泥浆。

C.9.4.7 两种土壤新化学处理法

- a) 一种是用盐类物料,如氯化钠、硫酸铜、硫酸镁等,它们被土壤吸收后,产生很多导电离子,其缺点是易因降雨和地下水的冲洗而流失;
- b) 另一种是用化学凝胶,它几乎没有上述缺点,这类新材料如丙烯酰胺凝胶、硅酸盐凝胶、亚铁氰化铜凝胶。

C.9.4.8 其它接地

利用水和与水接触的钢筋混凝土体作为流散介质,充分利用水工建筑物(水井、水池等)以及其他与水接触的金属部分作为自然接地体,可在水下钢筋混凝土结构物绑扎成的许多钢筋网,选择一些纵横交叉点焊接,并与接地网连接起来。

C.10 耦合

C.10.1 电阻耦合

当一个建筑物受雷击时,进入地中的雷击电流通常在防雷装置和远处大地之间产生一个数百千伏量级的电压,此电压值取决于接地电阻。部分雷电流流入与建筑物,并引至远处大地的外来导体(如电缆),流入电缆屏蔽层的这部分电流造成在其内导线和屏蔽层之间产生电压。

C.10.2 磁场耦合(电感耦合)

导线或闪电通道中的雷电流在距其约 100m 范围内产生的磁场正比于随时间变化的雷电流。在磁场与诸导体有关联之处,磁场在诸导体形成的环路中所产生的电压与 dH/dt 成比例,这被称为“磁感应”。

C.10.3 电场耦合

空气击穿放电的电场强度值在 500kV/m 范围内需要在整个雷击区域(从雷击点起至约 100m 距离的范围)内正好在形成主放电之前考虑各电场强度。主放电形成以后电场衰减消失,这时需要考虑电场的变化率,其值在 500kV/m 范围内。

C.11 避雷接地装置的验收、维护和修理

C.11.1 避雷接地系统验收必备的文件和验收方法

全部工程完毕后,验收前提交下列文件:

- a) 设计的全部施工图纸;
- b) 施工阶段的修改图纸;
- c) 隐蔽工程的验收记录单(包括各隐蔽不易接近部分,如避雷网隐蔽的引下线,接地装置的结构施工质量等);
- d) 接地装置的接地电阻测量记录单。

C.11.2 避雷及接地装置验收标准

根据国家质量检验评定标准,避雷及接地装置验收规定如下:

- a) 接地电阻:接地电阻应符合“规范”规定;
检验方法:要求逐组检查,测试并做好记录;
- b) 避雷针及支持件安装:避雷针及标志灯应完整、牢固、垂直、位置与图纸规定一致;
- c) 检查数量:按避雷针数抽查 30%,但不得小于 1 支;
检查方法:用手扳动和观察检查;
- d) 接地线安装:接地线应平直、牢固、不应有高、低起伏,非拐弯处不应有弯曲现象。沿建筑物或构筑物的距离应一致;
检查数量:抽查 3 处~10 处;
检查方法:用手扳动和观察检查;
- e) 接地线连接;
检查数量:抽查 3 处~10 处;
检查内容:
焊接连接的焊缝平整、不应有裂纹、气孔等缺陷;
螺栓连接应紧密牢固;
用放大镜、手扳动和观察检查;
扁、圆钢连接见表 C.5 规定;
用尺量和观察检查;
- f) 接地体安装:焊接应牢固,位置正确;
检查数量:全部检查;
检查方法:检查隐蔽工程并验收记录;
- g) 防腐处理:应均匀、无遗漏;
检查数量:抽查 3 处~10 处;
检查方法:观察检查。

表 C.5 扁、圆钢连接

项 次	项 目	连 接 长 度
1	扁钢搭接	不小于宽度 2 倍
2	扁钢焊接处	不小于 3 个棱边
3	圆钢焊接	不小于直径 6 倍

C.11.3 避雷接地装置的维护和检查

避雷装置的维护检查是由使用单位或业主负责的,也可以请避雷检测部门进行。维护检查分定期检查及临时检查。对于重要工程应在每年雷雨季节前作定时检查。对于重要工程应在每年雷雨季节前作定时检查;对于一般工程,应每隔二、三年在雨季前作定期检查。有特殊需要时可作临时检查。检查事项如下:

- a) 检查是否由于修缮建筑物或建筑物本身变形使避雷装置发生改变;
- b) 检查有无因挖土方,敷设其他管线路或种植树木、修路等挖断接地装置;
- c) 检查各处按装导体有无因锈蚀或机械力的损伤而折断的情况;
- d) 检查接闪器有无因接受雷击而熔化或折断的情况;
- e) 检查引下线地面 2m 以下段的安全保护上有没有损伤的情况;
- f) 检查接线卡子有无接触不良情况;
- g) 检查明装引下线上有无验收后装设的交叉或平行的电气线路;
- h) 检查安装接闪器的结构有无腐朽现象;
- i) 检查接地装置周围的土壤有无沉陷的现象;
- j) 测量全部接地装置的散流电阻并做好记录;
- k) 如发现接地电阻比前一次测量记录有很大变化时,应将接地系统挖开检查。若接地装置采用了活泼金属的阴极抗腐蚀装置时,应定期挖开活泼金属接地体,观察其被腐蚀的情况,当被腐蚀严重时,应更换或补充活泼金属地极。

C.12 防雷技术的基本原则

防雷技术的基本原则如下:

- a) 防雷工作保护的對象有四:建筑、构筑物、设备和人,四者需统筹兼顾,防雷工作有一些特殊性,有些规律是带有统计性的,需要实践来检验,不能靠实验室验证,要服从科学的准则,要进行科学的考察、记录,要有防备预防的措施;应尊重科学,从实际出发,因地制宜,既重视防雷规范的原则,又要有一定的灵活性;这种灵活性主要是考虑经济上的最优选择而又是符合科学的;现代防雷的技术原则强调全方位防护,综合治理,层层设防,把防雷看作是一个系统工程;这是由于雷的危害作用无孔不入,在整个空间侵袭微电子设备,最难防范;
- b) 防雷安全应按照选定的安全标准做到万无一失,特别是一些非常工程项目,要符合科学原则,但是还要有灵活性,因为科技在发展,已制订的规范不可能永远正确无误,另一方面,中国地域广阔,雷电与地理、气象条件关系密切,防雷规范不可能照顾到这些差别,制订规范时也考虑到这一情况而在条款中含有灵活性,需要从实际出发,因地制宜考虑防雷措施,善于依据雷电科学,独立思考;
- c) 在符合科学原则的前提下,应重视经济原则,防雷规范中就体现了这个精神,例如把建筑物分别对待,就是考虑到经济原则;选购防雷设备,价愈贵不一定是防雷安全质量愈高,防雷措施是可以做到科学原则与经济原则完善结合的;
- d) 高山上的微波站和通信台站等需要完善防雷的部门,按旧的防雷规范,需要非常低的接地电阻,这些地方的大地多为电阻率很高的岩石,流散电阻大,若照传统的防雷办法,得挖开岩石地层,埋下大量钢材组成庞大的金属接地网,施工困难,耗资巨大,从科学上讲,低于限额的接地装置是防雷安全的并不是唯一可靠措施;法拉第笼的防雷措施,可以不考虑接地,它的防雷性能要比流行的办法更为安全经济,可以节省大量经费和钢材;现代防雷新思路更强调重视“均压”,即保持建筑物内各处等电位,各设备等电位,对机房采取均压、屏蔽等措施;
- e) 善于运用概率统计概念来考虑防雷,能较好地统筹兼顾科学原则和经济原则,防雷安全选取的安全标准不同,耗资就不同,这里要考虑到按什么样的雷电流数据来设计,我们应按科学、经济的原则态度进行现代防雷技术工作,为部队节省防雷费用;
- f) 耐用可靠的原则,防雷设备要特别强调耐用可靠,有些雷灾的发生就是由于避雷装置年久损坏,形同虚设,现代防雷技术需要强调耐用可靠的原则;
- g) 现代防雷技术措施,闪电的电磁脉冲无孔不入地从空间各方面侵袭各种现代通信科技设备,现代的防雷技术措施应全方位的防护,层层设防,综合治理,把防雷工程看作一个系统工程;

- h) 我国幅员辽阔,地质地理条件复杂、雷电灾害横贯东西、纵布南北,只要依靠科学技术,增强防灾减灾意识,通信设施雷电灾害是可以避免的。

C.13 雷电对人身安全和物体的影响

C.13.1 接触电压

当闪电电流经建筑物的避雷针引下线、各种金属管道、电线杆或大树入地时,由于雷电流峰值很大,常达几千千安,所以在这些被直接雷击中的导体上便产生高达几万伏,甚至几十万伏的电压。这时,如果正好有人接触它们,就会发生触电事故。

C.13.2 旁侧闪击或侧闪

当人站在距被雷击中的物体很近时,闪电穿越空气间隙对人的身体放电,这种放电叫旁侧闪击。

C.13.3 跨步电压

雷电流在地面上各点间出现电位降,越靠近雷击点,电流密度越大,电位降也就越大。如果有人正站立或行走在落雷点附近,在两脚间的这一电位降可使雷电流通过两腿和躯干的下部,人就会被电击伤。

C.13.4 易遭雷击物体

地面突出物体易遭雷击及地面导电好的物体容易引雷。

C.13.5 综合考虑防雷技术措施

雷电事故频繁,其防雷的技术措施的难点集中在接地电阻上,这个问题不仅是技术上的问题,施工与经济上的问题也影响极大。若按常规传统概念和防雷规范考虑,很棘手,花钱很多,效果却不见得好,接地、均压、屏蔽分流等防雷技术措施有一点考虑不周,就会出事故。

C.14 基本防护

C.14.1 限幅

限幅要求如下:

- a) 通信电缆进入机房要首先接入保安配线架(箱),配线架应装有抑制电缆线对横向、纵向过电压的限幅装置;
- b) 配线架限幅装置主要包括压敏电阻器、气体放电管、熔丝、热线圈等,对于微电子设备应优先采用压敏电阻器;
- c) 高压架空配电线终端杆杆体金属部分应接地,如距主接地网较远可做独立接地,接地电阻不应大于 30Ω ,杆上三相对地要分别装设避雷器;
- d) 配电变压器高、低侧应在靠近变压器处装设避雷器,变压器在室内时,高压侧避雷器一般应装于户外,且离本体不得超过 10m ;机房配电屏或整流器入端三相对地应装氧化锌避雷器(箱);
- e) 直流电源的“正极”在电源设备侧和通信设备侧均应接地,“负极”在电源机房侧和通信机房侧应接压敏电阻;
- f) 各种避雷器件均应尽可能缩短引线,各种防雷器件应符合标准要求,并经专用仪器检验合格方可使用。

C.14.2 隔离

隔离要求如下:

- a) 不同接地网之间的通信线宜采取防止高、低电位反击的隔离措施。如光隔离、变压器隔离等;
- b) 在调度指挥通信综合楼内,需另设接地网的特殊设备,其接地网与大楼主接地网之间可通过击穿保险器或放电器连接,以保证正常时隔离,雷击时均衡电位;
- c) 微波塔和天线到周围建筑物的距离,应符合避免对建筑物发生闪络的要求,其距离应大于 5m ;
- d) 微波塔上除架设本站的通信装置外,不得架设或搭挂会构成雷击威胁的其他装置,如电缆、电线、电视天线等。

C. 14.3 保护方法及保护元件

保护方法及保护元件要求如下：

- a) 规定设备的介质绝缘强度、耐流量、阻抗等,以适应所使用的环境;
- b) 使用保护元件分流(如火花间隙)或中断(如用熔丝)可能到达设备内部的冲击;
- c) 带碳精板或金属电极的空气间隙保护器;
- d) 通常联接于每一引入线与地之间,限制出现在两极间的电压,此类元件价格低廉,但运行一段时间特别经雷击放电后,绝缘电阻会下降,需经常维护及更换。

C. 14.4 气体放电管

通常联接于每一引入线与地之间,如果是三极气体放电管则联接于平衡线对与地之间。用以把过电压限制到被保护系统可容许的范围。可较长时期工作不需要特殊的维护。但应对气体放电管作定期检查。三极气体放电管的横向电压小,保护效果优于二极气体放电管。

C. 14.5 半导体二极管

可把外来过电压值限幅低至 1V,以保护设备。器件的动作速度快,但易因过流而遭损坏。多用于细保护电路。

C. 14.6 压敏电阻

是一种其电阻值随外加电压而变化的非线性元件。从高阻到低阻的过渡可达秒级,耐流能力较大,但这类器件漏电会逐渐增加,极间电容较大,使用时应加以考虑。

C. 14.7 熔丝

串联在每一引入线之中,当流过过载电流时熔断。可以中断过电流以保护设备与人身安全。

C. 14.8 热线圈

串联在每一引入线之中,它附有易熔焊料,并当长时间超过规定值的弱电流潜入时熔断,用以切断电路,或同时将线路接地。

C. 14.9 其他保护元件

对设备遭受过电压能起保护作用的元器件及装置,如排流线圈、隔离变压器等,可视不同设备而选用。

C. 14.10 使用保护元件存在的不利因素

C. 14.10.1 残压

包括未使保护元件动作的过电压,保护元件动作前的瞬变,保护元件动作后的端电压,保护元件动作引起的电路瞬变等。

C. 14.10.2 横向电压

两线放电管动作不一致会产生横向电压。当被保护设备阻抗较低时,其值往往可达到纵向过电压的幅值和维持同样的时间。

C. 14.10.3 对电路正常工作的影响

若电路正常工作的电平和保护元件限幅电压之间“隔离”不够,则可能影响电路的正常工作。

C. 14.10.4 转移效应

保护元件虽然保护了设备的某一部分,但对设备的另一部分可能丧失保护或甚至造成更大危险。例如,熔丝熔断,会导致熔丝线路侧的过电压升高;放电管放电短路造成部分电路过流等。

C. 14.10.5 多级保护

在多级保护中,后级保护元件动作可能影响到前级保护元件的动作,损坏耐流能力弱的保护元件,或造成保护级之间的电路过流。多级保护的影响及要求如下:

- a) 保护元件动作过程中可引起温升;
- b) 保护元件动作可造成信号暂时或永久性中断;
- c) 可能增加维护工作量及影响电路的正常测试。

C.15 危险估计

C.15.1 设备受雷电影响程度的估计

设备受雷电影响的程度与设备上出现过电压的幅值及其概率、网络结构、设备抗过电压能力、保护元件、接地等有关。

C.15.2 环境条件的估计

雷电活动频繁及大地电阻率高的地区的设备,容易受直击雷和邻近雷击所破坏。周围埋地金属物如水管、电缆铠装及屏蔽,可以降低雷击在线路上引起的感应过电压。一般可把使用环境划分为非暴露和暴露两大类:非暴露环境——指城市中心和低雷暴活动的地区,其间极少出现超过保护元件残压的过电压;暴露环境——指除以上列出外的所有其他环境,也包括应采用一切有效保护措施,才能有满意效果的特殊暴露环境。

C.15.3 工作状态影响的估计

某些设备的内部接线是时刻变化着的,此时,保护设计不能孤立地局限于设备的一种工作状态。应考虑到设备工作状态变化(内部接线变化引起,如通信用的交换机)时雷电冲击产生的影响和受到的破坏可能更大。否则,一旦发生故障,设备性能受到的破坏或波及范围将达到更加严重的程度。

C.16 保护设计

C.16.1 受保护设备耐过电压能力分级

受保护设备耐过电压能力分为两级:

- a) 仅仅发生在局部上的轻微故障;
- b) 严重击穿、熔化、功能故障应尽量予以避免。不应因一个保护元件的损坏,继而导致严重故障的发生。

C.16.2 设备外部的保护

可以采取附加措施,达到下列目的:

- a) 中断或降低过电流;
- b) 降低过电压。

C.16.3 耐压水平

直接联于线路的变压器(如,设备输入或输出的匹配变压器、电源进线的电源变压器)、线路滤波器中的元器件应有不导致绝缘击穿的最低耐压。对于变压器,指初次级之间、端子与地及端子之间的耐压。对于滤波器的电感元件,指线圈端子对地的耐压,电容器指端子间的耐压。端子对地和变压器初次级间的耐压,是用以防纵向过电压,端子间的耐压是用以防横向过电压。在确定设备耐压水平时,应结合保护措施一起考虑。最低的耐压水平应能经受暴露环境并接有保护元件时所存在的残压冲击作用。

C.16.4 设备内部的保护

可以通过在电路串接或并接保护元件,应正确设计保护电路,合理选择保护器件及安装位置。注意不要使用多余的保护器件,否则不仅不经济,而且还会显著恶化设备的特性功能,降低运行的可靠性。

C.16.5 其他保护措施

其他保护措施如下:

- a) 利用及增大电流负反馈,可以限制晶体管上的过流,在一定程度上减弱晶体管所承受的过电压冲击;
- b) 装有滤波器的电子设备,可在不影响电路正常工作条件下尽量提高高通滤波器的截频,或尽量降低低通滤波器的截频,增大阻带衰耗,以减少进入内电路的冲击能量;
- c) 在不影响正常工作的条件下,电路中可串入限流电阻,以限制其过流,粗、细保护比较靠近时,限流电阻还可使粗保护的動作不受细保护的影响;

- d) 任何保护元件,均应尽可能缩短引线,直接装于需要保护的电路点上;
 - e) 在易受雷电冲击的电路中,不能使用金属膜电阻,因为它的耐冲击能力差;
 - f) 印制电路板中可能出现过电压的导线间的绝缘强度,应满足冲击耐压要求;
 - g) 用于线路放大以及其它可能承受冲击的晶体管,应进行耐冲击筛选;
 - h) 应选用动态电阻小的半导体二级管作保护元件;
 - i) 设备应有良好的保护接地,并定期检查,以减少地电位升的影响。
-