

# YD

中 华 人 民 共 和 国 通 信 行 业 标 准

YD/T 2324—2011

---

## 无线基站防雷的技术要求和测试方法

Technical Specification and Test Methods for Lightning Protection of  
Radio Base Stations

2011-05-18发布 2011-06-01实施

中华人民共和国工业和信息化部

# 目次

前    言 .....	IV
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语、定义和缩略语 .....	1
3.1 术语和定义 .....	1
3.2 缩略语 .....	5
4 一般原则 .....	5
4.1 无线基站设备可能遭受雷击的主要端口 .....	5
4.2 基站雷击的主要因素 .....	6
4.3 各类基站所处地理环境的划分 .....	6
4.4 基站雷电保护区的划分的参考结构 .....	6
5 技术要求 .....	7
5.1 直击雷的保护 .....	7
5.1.1 接闪器 .....	7
5.1.2 直击雷保护范围的确定 .....	7
5.1.3 直击雷保护的技术要求 .....	8
5.2 基站地网 .....	8
5.2.1 基站地网的一般要求 .....	8
5.2.2 接地体的埋设要求 .....	8
5.3 机房内部的基本连接结构 .....	9
5.3.1 一般原则 .....	9
5.3.2 等电位连接 .....	9
5.4 天馈线保护的技术要求 .....	11
5.5 进站光缆防雷接地的技术要求 .....	11
5.5.1 光缆的防雷方式 .....	11
5.5.2 光缆的防雷措施 .....	11
5.6 无线基站低压配电系统雷电防护技术要求 .....	12
5.6.1 无线基站低压交流配电系统 .....	12
5.6.2 直流拉远系统 .....	12
5.6.3 无线基站低压交流配电系统第一级SPD配置 .....	12
5.7 无线基站及其辅助设备雷电防护的技术要求 .....	13
6 测试方法 .....	14
6.1 一般原则 .....	14
6.2 试验条件 .....	14
6.3 试验波形 .....	14
6.4 无线基站接地系统及SPD的测试方法 .....	14
6.4.1 无线基站防雷接地系统的检测方法 .....	14
6.4.2 无线基站用浪涌保护器的测试方法 .....	15

6.4.3 无线基站用信号保护器检测方法 .....	15
6.5 无线基站用设备防雷的测试方法 .....	15
6.5.1 试验前电性能检查 .....	15
6.5.2 无线基站设备耐混合波的雷电防护性能测试 .....	15
6.5.3 无线基站电源设备耐冲击电流的雷电防护性能试验 .....	18
附录A(资料性附录)馈线屏蔽层离塔处接地判定及同轴电缆安装SPD必要性计算 .....	20
A.1 馈线屏蔽层离塔处接地与否判定 .....	20
A.2 同轴电缆安装 SPD必要性 .....	24
A.2.1 计算步骤 .....	24
A.2.2 电流沿天线塔的分配因子 ( $\alpha$ ) .....	24
附录B(资料性附录)无线基站雷击的四个端口 .....	27
B.1 电源端口 .....	27
B.2 信号/控制端口 .....	27
B.3 天馈线/馈电端口 .....	27
B.4 接地端口 .....	28
附录C(资料性附录)接地 .....	29
C.1 无线基站接地的目的 .....	29
C.2 基站地网的组成形式 .....	29
C.3 地网大小及网格数与接地电阻的关系 .....	30
C.4 地网与冲击半径及无线基站地网最佳面积大小 .....	32
C.4.1 接地网与冲击半径 .....	32
C.4.2 地网的最佳面积大小 .....	33
C.5 网格与均衡电压接触系数的关系 .....	34
C.6 功能分类接地与统一接地 .....	35
附录D(资料性附录)典型地网示意图 .....	36
附录E(资料性附录)两种等电位连接的对比分析 .....	39
E.1 典型的星形接地方式 .....	39
E.2 典型的网形接地方式 .....	39
附录F(资料性附录)低压配电系统的防护 .....	40
F.1 基站环境要求与SPD的选择 .....	40
F.2 基站用电源SPD起火的主要原因 .....	40
F.3 “3+1” 三相电源防雷电路 .....	41
F.4 对于分布式基站直流拉远防护 .....	41

## 前 言

本标准参考了 ITU-T K.56《无线基站的雷电防护》(2003 年版)有关条款中的天馈线的接地要求、电力线入口处安装防雷器、同轴电缆安装 SPD 必要性计算等内容。

本标准与以下标准协调统一:

1. YD 5098-2005《通信局(站)防雷与接地工程设计规范》;
2. YD/T 1429-2006《通信局(站)在用防雷系统的技术要求和检测方法》。

本标准所有附录均为资料性附录。

本标准由中国通信标准化协会提出并归口。

本标准起草单位:中讯邮电咨询设计院、华为技术有限公司、中国联合网络通信集团有限公司、中国移动通信集团公司、中国电信集团公司、工业和信息化部电信研究院、中兴通讯股份有限公司。

本标准主要起草人:刘吉克、陈强、熊膺、张兴海、汪伦、林涌双、李峙、杨世忠、刘裕城、谢琦、陆冰松、林国勇、何喜文、王志岗。

# 无线基站防雷的技术要求和测试方法

## 1 范围

本标准规定了无线基站防雷的技术要求和测试方法，并规定了无线基站雷电保护区的划分方法和不同地理环境的雷电风险划分。

本标准适用于各种制式的无线基站。

本标准不适用于室内覆盖无线基站设备。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB50057	建筑物防雷设计规范
GB/T17626.5	电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验
YD 5098	通信局（站）防雷与接地工程设计规范
YD/T1235.1	通信局（站）低压配电系统电涌保护器技术要求
YD/T1235.2	通信局（站）低压配电系统电涌保护器测试方法
YD/T1429	通信局（站）在用防雷系统的技术要求和检测方法
YD/T1542	信号网络浪涌保护器(SPD)技术要求和测试方法
ITU-T K.56	无线基站的雷电防护

## 3 术语、定义和缩略语

### 3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

#### 3.1.1

**雷暴日** thunderstorm day

一天中可听到一次或以上的雷声则称为一个雷暴日。

#### 3.1.2

**防雷区** lightning protection zones (LPZ)

将一个易遭雷击的区域，按照通信局（站）建筑物内外、通信机房及被保护设备所处环境的不同，进行被保护区域划分，这些被保护区域称为防雷区。

#### 3.1.3

**雷电活动区** thunderstorm region

根据年平均雷暴日的多少，雷电活动区分为少雷区、中雷区、多雷区和强雷区；

少雷区为一年平均雷暴日数不超过 25 的地区；

中雷区为一年平均雷暴日数在 26～40 以内的地区；

多雷区为一年平均雷暴日数在 41～90 以内的地区；

强雷区为一年平均雷暴日数超过 90 的地区。

#### 3.1.4

**雷击风险评估** evaluation of lightning strike risk

根据雷击大地导致人员、财产损害程度确定防护等级、类别的一种综合计算、分析方法。

#### 3.1.5

**雷电电磁感应** electromagnetic induction of lightning

雷电流迅速变化在其周围空间产生瞬变的强电磁场，使附近导体上感应出很高的电动势。

#### 3.1.6

**地电位升** earth potential rise

雷电流流入大地时，由于地网接地电阻的存在，相对于无穷远点地电位升高，即雷电高电位引出。

#### 3.1.7

**二次效应** quadratic effect

以下情况统称为雷电作用下的二次效应：

1) 当带电云块对大地放电时，在其泄放通道周围会产生电磁感应场向外传播或直接通过导体传导，导致在影响范围内的金属部件、电子元器件和电气装置，受到电磁脉冲的干扰而毁坏。

2) 雷电电流通过避雷针、引下线、接地网将雷电流引入大地时，由于接地网接电阻的存在，雷电电荷不能快速全部的与大地负电荷中和，必然引起地网地电位升高，由于雷电高电位引出，反击雷电压加在与外部连接的线缆上，致使电源设备、信号端口损坏。

#### 3.1.8

**浪涌保护器** Surge Protective Devices (SPD)

通过抑制瞬态过电压以及旁路浪涌电流来保护设备的装置。它至少含有一个非线性元件。

#### 3.1.9

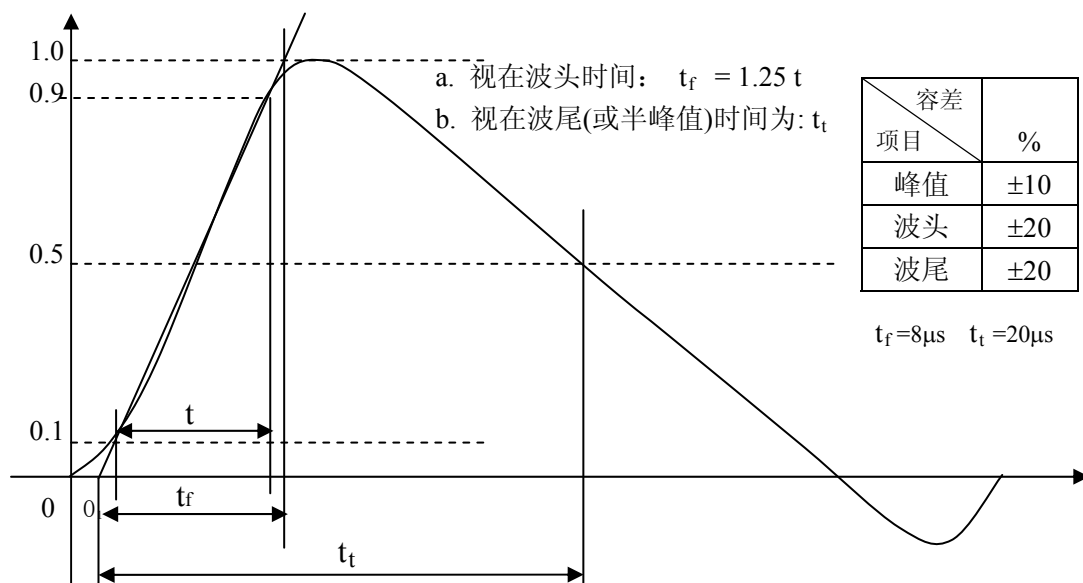
**限压型浪涌保护器** voltage limiting type SPD

无浪涌时呈高阻状态，但随着浪涌的增大，其阻抗不断降低的 SPD。常用器件有氧化锌压敏电阻、瞬态抑制二极管等。

#### 3.1.10

**波形参数** wave parameter

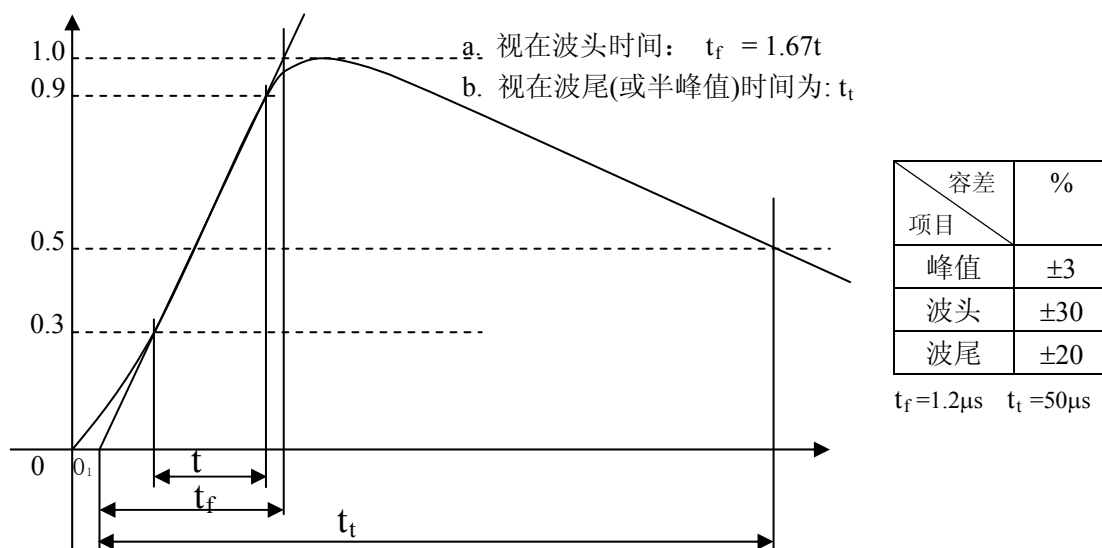
1) 8/20  $\mu$  s 冲击电流波形及其参数见图1所示。



注：视在波头时间 $t_f$ ：冲击电流波峰值的10%到90%间的时间间隔的1.25倍；  
 视在原点 $O_1$ ：雷电波冲击电流峰值10%和90%两点间画一直线与时间坐标轴的相交点；  
 视在半峰值时间 $t_t$ ：从雷电波冲击电流视在原点 $O_1$ 到电流降到半峰值时刻间的时间间隔。

图1 8/20  $\mu s$  波形的电流与时间关系图

2) 冲击电压波形图及其参数见图2所示。



注：视在波头时间 $t_f$ ：雷电波冲击电压波峰值的30%到90%间的时间间隔 $t$ 的1.67倍；  
 视在原点 $O_1$ ：雷电波冲击电压峰值30%和90%两点间画一直线与时间坐标轴的相交点；  
 视在半峰值时间 $t_t$ ：从雷电波冲击电压视在原点 $O_1$ 到电压降到半峰值时刻间的时间间隔。

图2 1.2/50  $\mu s$  波形的电压与时间关系图

### 3) 混合波波形参数

由信号发生器产生的在输出开路时具有1.2/50 $\mu s$ 电压脉冲，在输出短路时具有8/20 $\mu s$ 电流脉冲波形，开路电压( $U_{oc}$ )脉冲和短路电流( $I_{sc}$ )脉冲之比称为虚拟阻抗( $Z_f$ )，其值等于 $2\Omega$ 。

#### 3.1.11

残压 residual voltage

当放电电流通过 SPD 时，其端子间呈现的电压峰值。

### 3.1.12

**标称放电电流** **nominal discharge current ( $I_n$ )**

表明 SPD 通流能力的指标，对应于 8/20 $\mu$ s 模拟雷电波的冲击电流。

### 3.1.13

**最大放电电流** **maximum discharge current ( $I_{max}$ )**

SPD 不发生实质性破坏，每线（或单模块）能通过规定次数、规定波形模拟雷电波的最大电流峰值。

### 3.1.14

**最大持续运行电压** **maximum continuous operating voltage ( $U_c$ )**

SPD 在运行中能持久耐受的最大直流电压或工频电压有效值。

### 3.1.15

**二端口浪涌保护器** **two-port SPD**

具有独立的输入输出端口的浪涌保护器。在这些端口之间插入有一个专门的串联阻抗。

### 3.1.16

**接地网** **ground grid**

由一组或多组接地体在地下相互连通构成，为电气设备或金属结构提供基准电位和对地泄放电流的通道。

### 3.1.17

**等电位连接** **equipotential bonding**

将不同的电气装置、导电物体等，用接地导体或浪涌保护器以某种方式连接起来，以减小雷电流在它们之间产生的电位差。

### 3.1.18

**接地参考点** **earthing reference point (ERP)**

等电位连接网络的接地引接点。

### 3.1.19

**总接地汇流排** **main earth-terminal (MET)**

单点接地的星形接地系统中，系统的第一级主汇流排。

### 3.1.20

**局部等电位汇流排** **local equipotential earthing terminal board (LEB)**

电子信息设备机房内，作局部等电位连接的接地汇流排。

### 3.1.21

**天线塔因子** **tower factor ( $\alpha$ )**

表示沿 RBS 天线塔流过通信导线束雷电流百分比的因子。

### 3.1.22

**屏蔽系数** **shielding factor ( $\eta$ )**

表示 RBS 内由于建筑钢筋等导体的屏蔽作用使通信回路内感应电压衰减的因子。

### 3.1.23

**几何平均半径** **geometric mean radius ( $r'$ )**

导体的几何平均半径是一个假想的筒形导体的半径，该导体的筒壁极薄，无内部磁通但其外部磁链与原导体的总磁链（内部+外部）相同。



### 3.2 缩略语

下列缩略语适用于本标准

BBU	building base band unite	室内基带处理单元
EBB	equipotential bonding bar	等电位连接带
EUT	equipment under test	被试装置
GPS	global positioning system	全球定位系统
GSM	global system for mobile communications	全球移动通讯系统
LEB	local equipotential earthing terminal board	局部等电位连接汇流排
LEMP	lightning electromagnetic pulse	雷电电磁脉冲
MET	main earth-terminal	总接地汇流排
MOV	Metal Oxide Varistor	金属氧化物压敏电阻
PE	protective earthing conductor	保护接地线
RBS	radio base station	无线基站
RF	radio frequency	射频
RRU	radio remote unit	射频拉远单元

## 4 一般原则

### 4.1 无线基站设备可能遭受雷击的主要端口

雷电可以从无线基站通信设备四个端口影响无线基站的正常工作，见图 3 所示：

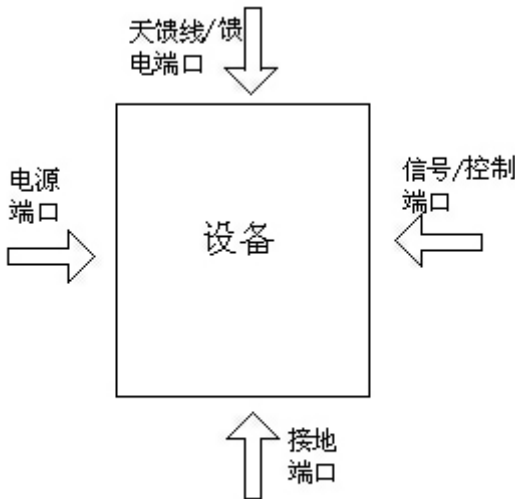


图 3 雷电的主要引入的端口

- 1) 电源端口：包括站内与供电电源连接的各种设备（如各类通信设备、变压器、配电箱、稳压器、整流模块、空调、照明系统等）的电源端口、交直流拉远端口。
- 2) 信号/控制端口：站内各种设备传输信号口、监控信号口、控制信号口等。

- 3) 天馈线及天馈电端口：无线基站的各类天馈信号接口，如天线、GPS、北斗等。
- 4) 接地端口：设备的接地端口。

上述 4 个端口常见的危害方式参见附录 B。

## 4.2 基站雷击的主要因素

无线基站系统防雷接地采取的措施应根据以下主要因素来确定：

- 基站所处的地理环境，在城市、郊区、山区，或易遭受雷击的地区；
- 基站所处地区的年雷暴日；
- 雷电保护区的划分；
- 基站的分类（机房建筑物与铁塔的关系）；
- 铁塔或桅杆；
- 公共建筑物或民用建筑物；
- 基站内所配置的设备与系统以及线缆长度；
- 供电方式；
- 所在地的供电电压波动情况。

## 4.3 各类基站所处地理环境的划分

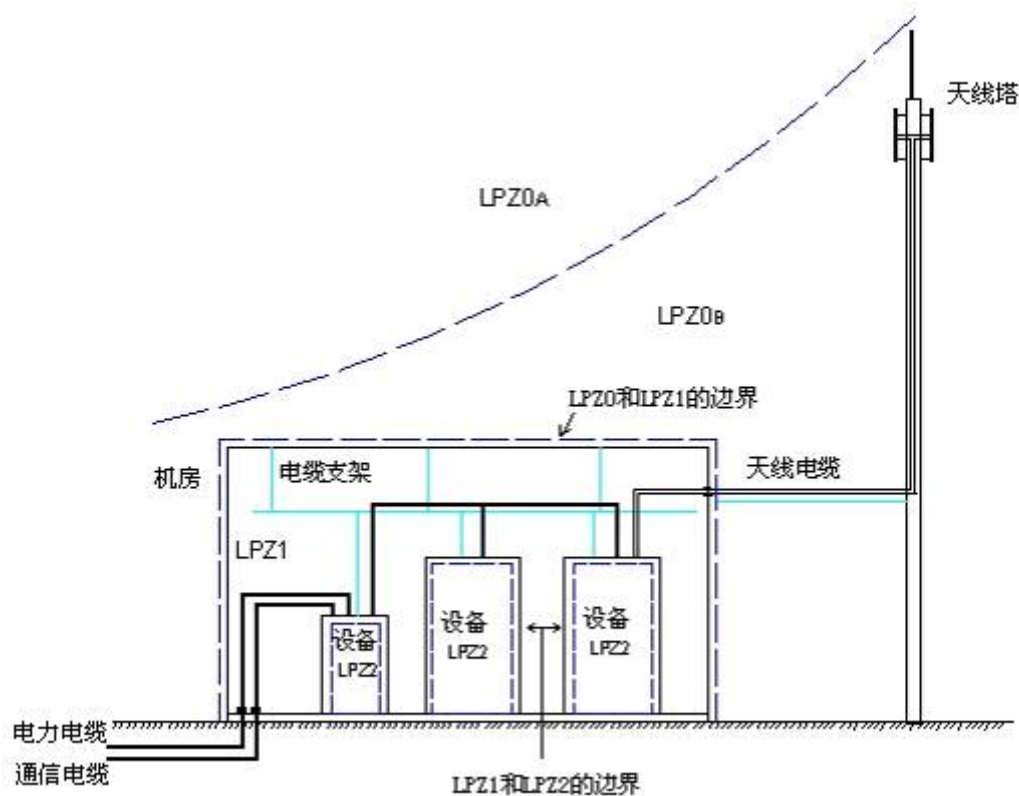
无线基站防雷应根据其所处地区的地理环境影响因素(L 型、M 型、H 型、T 型)确定防护等级，另外应考虑雷电保护区的划分、地理环境、年雷暴日、遭受雷击频次、供电电压的稳定性、基站重要性等影响因素。

- 1) L型（较低风险型）：闹市区、公共建筑物、专用机房且雷暴日为少雷区或中雷区。
  - 2) M型（中等风险型）：城市中高层孤立建筑物的楼顶机房、城郊、居民房、水塘旁以及无专用配电变压器供电的基站，且雷暴日为中雷区及多雷区。
  - 3) H型（较高风险型）：丘陵、公路旁、农民房、水田中、易遭受雷击的机房，且雷暴日为多雷区及强雷区（包括中雷区以上有架空电源线引入的机房）。
  - 4) T型（特高风险型）：高山、海岛，且雷暴日为多雷区及强雷区。
- 注：未包含在上述风险类型的基站可根据具体情况确定所属环境类型。

## 4.4 基站雷电保护区的划分的参考结构

本标准所涉及的 RBS 其中一类基站参考结构用图 4 表示，从图中可以看到三个防雷区(LPZ)的划分。

- 1) LPZ0（包括LPZ0<sub>A</sub> LPZ0<sub>B</sub>）区的设施包括：天线塔、天线、外部架缆线、各类室外馈电电缆、低压配电变压器、接地系统。
- 2) LPZ1 区的设施包括：RBS 站房、埋地缆线、内部缆线。
- 3) LPZ2 区的设备包括：机柜及其内部设备。



注：防雷区的图示内容，并不代表 IEC 建议中关于雷电保护区的划分的所有内容都被本标准所接纳。

图 4 RBS 防雷区划分的参考结构

## 5 技术要求

### 5.1 直击雷的保护

#### 5.1.1 接闪器

1) 根据基站建筑物的形式（专用机房、公共建筑物、民用建筑物）和铁塔、桅杆、抱杆等，接闪器应采用常规避雷针、避雷带、避雷网格三种形式。

2) 非常规避雷针不应在无线基站使用。

#### 5.1.2 直击雷保护范围的确定

1) 避雷针的保护范围宜按照 GB50057-94（2000 版）附录中单根针计算。

2) 避雷针的保护范围工程方法宜按照  $45^\circ$  角确定。

3) 机房和室外设备应置于直击雷保护范围内。

4) 天线应置于接闪器保护范围内。

5) 按本标准提出的方法实施直击雷防护时，也宜对无线基站的邻近区域共用设施的建筑物实施雷击防护。

### 5.1.3 直击雷保护的技术要求

- 1) 避雷针适宜于铁塔、桅杆或增高架的无线基站直击雷保护。
- 2) 楼顶铁塔、增高架应与避雷带在不同方向不少于两处连接。
- 3) 铁塔的金属构件在电气连接的情况下,可不设置专门的避雷针引下线,雷电流通过避雷针、塔身和塔脚入地。
- 4) 非金属天线塔杆应采用避雷针及其引下线保护方式。
- 5) 避雷带、避雷网格适宜于基站设在公共建筑物的直击雷保护。
- 6) 基站设在民房时,宜利用避雷带方式,不宜再设独立的避雷针。
- 7) 天线宜利用抱杆自身的避雷针进行保护,天线与抱杆应电气连通,抱杆应接地。

## 5.2 基站地网

### 5.2.1 基站地网的一般要求

1) 无线基站的地网设计应考虑基站构筑物的形式、地理位置、周边环境、地质条件、土壤组成、地形等因素,根据地网的雷电有效冲击半径、地网周边边界、基站所处地理环境与地形等因素确定地网的边界及形状。

2) 无线基站地网由机房地网、铁塔地网或由机房地网、铁塔地网、变压器地网组成一个环形地网,并应将机房建筑基础(含地桩)、铁塔基础内的主钢筋和地下其它金属设施作为接地体的一部分。变压器地网与机房地网或铁塔地网之间应至少两处焊接连通,以相互组成一个周边封闭的地网。

3) 为了减小地网的接地电阻值,可采用扩大基站地网面积的方式:在地网外围再增设一圈环形接地装置,环形接地装置宜以水平接地体为主、四角垂直接地体为辅组成,水平接地体周边为封闭式,环形接地装置与地网之间应在四角用热镀锌扁钢焊接连通;并在机房铁塔四角设置辐射型水平接地体,延伸水平接地体的长度宜限制在 10m~20m 以内。

4) 基站地网的接地电阻值宜不大于  $10\ \Omega$ 。大地电阻率大于  $1000\ \Omega \cdot \text{m}$  的地区,应采取优化设计的方式,以地网面积的大小为依据判定基站地网是否合格,地网冲击半径应大于 10m,地网四角还应辅以 10m~20m 的热镀锌扁钢作辐射型接地,以提供更好的雷电流散流通路(参见附录 C)。

5) 典型地网示意图参见附录 D。

### 5.2.2 接地体的埋设要求

1) 接地体埋深一般不小于 0.7m(接地体上端距地面),在土壤较薄的石山或碎石多岩地区应根据具体情况决定接地体埋深。

2) 接地系统中的垂直接地体可根据埋设地网的土质及地理情况决定垂直接地体的长度,垂直接地体数量可以根据地网大小、地理环境情况来确定,地网四角的连接处应埋设垂直接地体。

3) 在大地土壤电阻率大于  $1000\ \Omega \cdot \text{m}$  的地区,当一般做法的地网接地电阻值难以满足要求时,宜采取向外延伸的辐射形接地体、以及外引接地等方式。

4) 为了控制地电位梯度或限制注入与无线基站相连的金属构件的电流,宜补充附加接地

体。这些附加接地体宜沿环形地极敷设垂直金属接地体和从塔基向外敷设水平辐射的导体或从塔基向外敷设水平辐射的导体。

### 5.3 机房内部的基本连接结构

#### 5.3.1 一般原则

1) 接地参考点是基站内的唯一公共连接点。当基站设置在多层建筑物中时，接地参考点可以从建筑物各层任何一点引接，无须从地网直接引接。

2) 无线基站防雷的基础是接地，但是接地不能代替其他防雷措施，在基站防雷接地中等电位的连接非常重要。

3) 基站内总接地排从地网引出线的位置，宜设置在与铁塔相反的方向。

#### 5.3.2 等电位连接

##### 5.3.2.1 常态（稳态）、瞬态接地方式与等电位连接

1) 常态（稳态）等电位连接,通过接地线将系统间、设备间，不同金属构筑物之间直接连接形成常态（稳态）等电位，基站常态等电位连接解决可以直接搭接的金属构件问题。

2) 瞬态等电位接地方式与等电位连接是将电源、信号线、馈线通过 SPD 与地连接，平时是断开的、呈现高阻，有雷电过电压时呈现低阻，使雷电流通过接地系统泄放。

##### 5.3.2.2 基站接地与等电位连接方式

1) 采用网状连接时，应在机房内沿走线架或墙壁设置环形接地汇集线，材料宜采用 30mm×3mm 铜排（也可选用 40mm×4mm 镀锌扁钢），环形接地汇集线靠近墙壁时用安装挂卡等将其固定在墙壁上，靠近走线架时可用安装挂卡等将其固定在走线架上。环形接地汇集线可以根据机房内设备布置成“口”字形以及可能的扩容情况布置为“日”字形或者“目”字形。环形接地汇集线与地网应采用镀锌扁钢或截面积不小于 95 mm<sup>2</sup> 的多股铜线在机房四边（多点）连接。连接方法如图 5 所示。

2) 采用星形连接时，基站的总接地汇流排，应设在配电箱和第一级电源 SPD 附近，开关电源、收发信机以及其它设备的接地线均由总接地汇流排引接。如设备机架与总汇流排相距较远时，可以采用两级汇流排，此时第一级电源 SPD、交流配电箱及光纤加强芯和金属护层的接地线，应从总接地汇流排接地；站内其它设备从第二级汇流排接地。两个接地汇流排应用截面积为 70 mm<sup>2</sup> 以上的多股铜缆相连。连接方法如图 6 所示。

3) 两种等电位连接方式的对比分析参见附录 E。

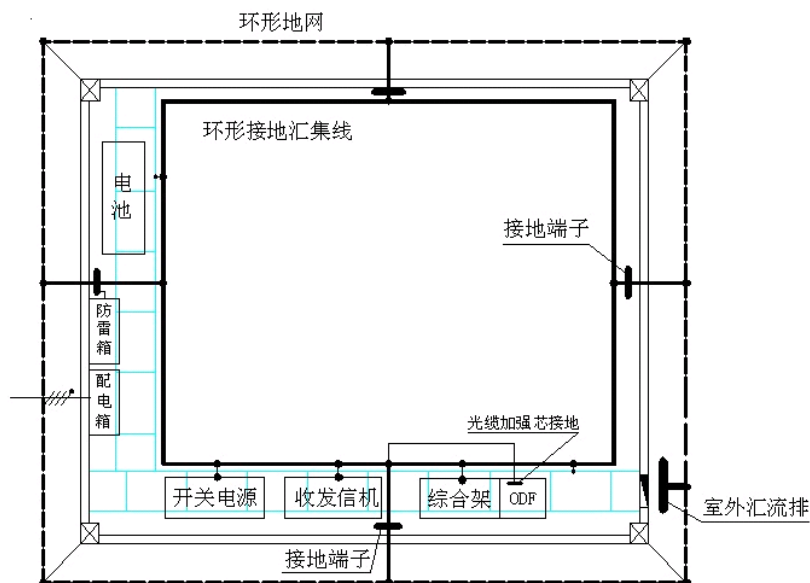


图 5 基站采用网状等电位连接方式接地示意图

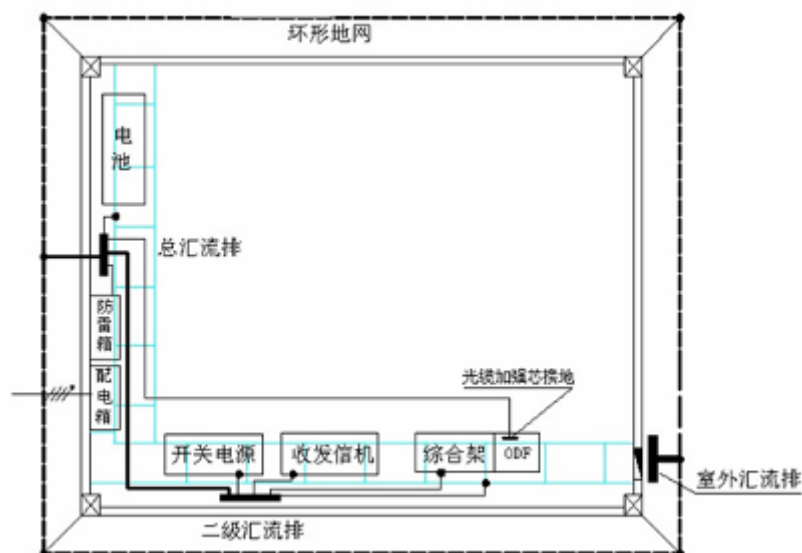


图 6 基站采用星形等电位连接方式接地示意图

### 5.3.2.3 机房内部的基本连接结构与接地

1) 无线基站机房设备的等电位连接，第一级 SPD 与开关电源内部第二级 SPD 级间宜大于 5m。第一级防雷器应设置在配电箱旁边，总的接地参考点应设置在附近，第一级 SPD 的接地线应就近接在配电箱附近的接地排上。

#### 2) 接地参考点的设立

当采用星形接地方式时，接地参考点即设在配电箱附近的接地排；采用网状连接方式时，环形接地汇集线是接地参考点，所有设备应就近接地。

#### 3) 开关电源内部 SPD 的接地线

开关电源内应用的 SPD 接地线应就近连接至设备内部的接地铜排上。

4) 机房内各设备宜采用  $4\text{ mm}^2\sim 35\text{ mm}^2$  多股铜导线就近与环形接地汇集线可靠连接。

5) 基站机房内各种小型设备及信号 SPD 的接地线，线径应根据设备的额定功率确定，一

般应在  $2.5\text{ mm}^2\sim 4\text{ mm}^2$  的范围之内选择。

#### 5.4 天馈线保护的技术要求

1) 所有缆线（同轴电缆、射频拉长电缆等）的屏蔽层应分别在天线处、机房入口处外侧就近接地。馈线屏蔽层离塔处的接地宜根据附录A来确定。

2) 同轴电缆是否安装 SPD的计算参见附录A。

3) 当铁塔上的馈线或其它同轴电缆长度大于60m时，宜在铁塔中部增加一个接地点。

4) 自天线塔引入机房的所有缆线，应从同一窗口进入，并与安装在窗口处的接地排做等电位连接。波导和同轴电缆的外屏蔽层应就近与接地排相连，接地排应就近与接地网连接。

5) 馈线入口处的室外接地排应就近接至地网上，不应接至铁塔塔基。

6) 当馈线屏蔽层已经通过天线与铁塔(或抱杆)实现电气连通，馈线屏蔽层在天线下方可不增加馈线屏蔽层的接地处理。

7) 若RRU和天线都放置在铁塔（或抱杆）上，馈线屏蔽层已经通过RRU和天线分别实现接地，可不增加馈线屏蔽层的接地处理。

8) 室外和室内基站设备的天馈端口，以及有源天线的交直流端口、控制线端口应采取雷电防护措施，其耐雷击指标应符合表 2 的相关要求。

9) 有源天线电缆在机房内部设备端应提供相应的防雷保护措施，如加装 SPD，其雷电防护性能技术要求见表 2。

#### 5.5 进站光缆防雷接地的技术要求

##### 5.5.1 光缆的防雷方式

光缆的防雷一般有两种方式：

- 1) 采用在终端处加强芯及金属外护层接地的方式。
- 2) 采用在终端处加强芯及金属外护层断开的方式。

##### 5.5.2 光缆的防雷措施

1) 光缆进机房前终端处可以先将加强芯及金属外护层在光端盒中断开，然后将这些金属构件直接接在地网上，断开的另外一端采用无金属光缆直接进入机房。

2) 光缆直接进入机房，在综合机架上的终端处，将光缆的加强芯及金属外护层直接接地。

3) 在光缆采用埋地进入无线基站前，光缆的金属构件应在接头盒内部直接断开，并在接头盒内将引入机房侧的光缆金属构件就近与地网电气连通。

4) 当光缆采用架空方式引入无线基站时，钢绞线可采取两种保护方式：一种是将悬挂光缆的钢绞线通过加绝缘子不接地；另一种是将钢绞线直接接入基站地网。

5) 光缆进入机房后，如果有光缆接头盒，则光缆金属加强芯和金属护层在接头盒内接地，然后再引到光端机或综合柜中。

6) 如果光缆进入基站后直接进入综合柜，应将光缆金属加强芯和金属护层直接接在与机架绝缘的专用接地排上，并用不小于  $16\text{ mm}^2$  的多股铜线引到站内第一级汇流排接地。

## 5.6 无线基站低压配电系统雷电防护技术要求

### 5.6.1 无线基站低压交流配电系统

- 1) 雷电防护原则是多级保护、逐级限压，将雷电过电压限制在设备能承受的范围内。
- 2) 无线基站低压交流配电系统用 SPD 应符合 YD5098-2005、YD/T1235.1-2002 和 YD/T1235.2-2002 的要求。
- 3) 低压交流配电系统用第一级防雷器应安装在总配电箱内，具体配置要求参见附录 F。第二级防雷器应设在开关电源设备内部，其最大通流容量不小于 40kA，两级防雷器的退耦距离应大于 5m。
- 4) 进入机房的电力电缆应埋地引入，对于有铁塔的或者电力线架空引入的无线基站应将第一级 SPD 最大通流量增大一个等级。

### 5.6.2 直流拉远系统

- 1) 直流拉远的电源线应采用屏蔽线缆，并且屏蔽层应在两端做接地处理。在塔上部分可通过RRU或者防雷箱进行屏蔽层的接地，机房侧屏蔽层接地应选择在馈窗口附近实施。
- 2) 直流馈电线上下两端应采用相应的防雷保护措施，如采用两端口 1+1 直流 SPD，其技术要求参考表 4。
- 3) 为室外设备供电的直流馈电线应在直流配电箱处采用相应的防雷保护措施，如安装直流 SPD，其技术要求参考表 4。

### 5.6.3 无线基站低压交流配电系统第一级SPD配置

表 1 无线基站低压交流配电系统第一级限压型 SPD 配置

技术指标 技术参数	不同环境影响因素下的技术指标			
	L 型	M 型	H 型	T 型
标称放电电流(kA)	≥25	≥30	≥40	≥50
最大放电电流（kA）*	≥60	≥80	≥100	≥120
保护方式	一端口	一端口	一端口	一端口或两端口
保护模式	3+1			
最大运行电压(V)	≥385			
SPD 内部保护要求	热熔保护			
状态指示	宜具有劣化指示、损坏告警、保险跳闸告警（箱式）、遥信等功能			
*注：最大放电电流一般大于标称放电电流的 2.5 倍。				



## 5.7 无线基站及其辅助设备雷电防护的技术要求

1) 无线基站设备端口都应具备相应的防雷保护措施，其防护性能技术要求见表 2。

表 2 无线基站设备耐受能力的技术要求

条件要求 设备		设备端口	耐受混合波雷电防护性能指标			
			室内（混合波）	判据	室外（冲击电流）	判据
分布式基站	BBU 端口	电源端口(交直流)	2kV	B	参见表 4	C
		E1 端口	2kV	B	3kA	C
		信号及控制端口	1kV	B	3kA	C
		GPS 端口	/		5kA	C
	RRU 端口	电源端口(交直流)	/		参见表 4	C
		控制端口	/		3kA	C
		RF（射频）端口	/		5kA	C
基站设备		电源端口(交直流)	2kV	B	参见表 4	C
		RF/GPS 馈线端口	/	/	5kA	C
		信号及控制端口	1kV	B	3kA	C
天线端口		控制端口	/	/	3kA	C
		校准端口	/	/	5kA	C

判据A：设备应能够承受住规定量级的测试且没有损坏以及出现其它的紊乱（例如软件无法正常运行或故障保护部件的误动作），且在测试后设备在规定的限制范围内能够运行正常。在测试期间不要求设备能够正常运行。

判据B：试验全过程中，EUT的功能或性能允许出现暂时的降低或丧失，但是应能够自动恢复；

判据C：试验全过程中，EUT的功能或性能允许出现暂时的降低或丧失，但需操作者干预或系统复位；

判据D：完成测试后，设备应不会出现着火的危险。如果出现任何损坏，应被限制在设备内一个很小的区域内。

注1：表格中所有指标均为共模指标。

注2：本技术要求规定的是设备整体的耐受能力，可以通过增加防雷器或者防雷电路的方式实现，直流端口防雷器可以用任何器件实现。

2) 无线基站辅助设备端口都应具备相应的浪涌保护措施，其应用在不同环境下的防护要求参考表 3。

表 3 无线基站室内辅助设备雷电防护性能技术要求

条件要求 辅助设备	测试波形	设备端口	耐受混合波雷电防护性能指标		判据
			L 型	M、H、T 型	
传输设备	混和波	电源端口	1kV	2kV	B
		信号端口 (E1 等)	1kV	2kV	B
监控设备		电源端口	2kV (1kA)	4kV (2kA)	B
		信号端口	1. 5kV (0. 75kA)	2. 5kV (1. 25kA)	B

注：1、判据参考表 2 中的判据要求；

2、设备本身需要满足 L 型环境指标要求；对于 M 型和 H 型应用环境，可以通过外置防雷器实现；

3、表格中所有指标均为共模指标；

4、监控设备按照图 8 进行测试。

5、本标准中的辅助设备仅针对传输和监控设备。

3) 无线基站电源端口雷电防护的技术要求参见表 4。

表 4 无线基站电源端口耐冲击电流波的雷电防护性能技术要求

端口类型	不同环境因素下的雷电耐受能力水平		判据
	L、M 型	H、T 型	
交流端口	$\geq 20\text{kA}$	$\geq 20\text{kA}$	C
分布式基站室外直流电源端口	$\geq 15\text{kA}$	$\geq 20\text{kA}$	C
分布式基站对外供电直流电源端口	$\geq 15\text{kA}$	$\geq 20\text{kA}$	C
注： 1、判据参考表2中的判据要求； 2、表格中所有指标均为共模指标； 3、直流端口的防雷器件可以用满足安全要求的各类元件组成。			

## 6 测试方法

### 6.1 一般原则

除非标准中另有规定,对于无线基站设备防雷性能测试均应在正常工作(供电)状态下进行,对于必要的辅助设备也应与主设备一起作为一个整体进行试验。

### 6.2 试验条件

温度	15℃~35℃
相对湿度	45%~75%
气压	86 kPa~106kPa

### 6.3 试验波形

1) 无线基站设备的浪涌抗扰度测试采用1.2/50μs-8/20μs混合波试验波形,混合波信号发生器内阻和耦合网络阻抗参考GB/T 17626.5标准规定进行设置。

2) 无线基站设备的雷电防护性能测试采用8/20μs冲击电流试验波形,如无特殊要求,其容许偏差为:

峰值	±10%
视在波头时间	±20%
视在半峰值时间	±20%

### 6.4 无线基站接地系统及SPD的测试方法

#### 6.4.1 无线基站防雷接地系统的检测方法

无线基站直击雷防护、地网、等电位连接、天馈线保护、进站光缆防雷保护的检测方法应符合 YD/T 1429《通信局(站)在用防雷系统的技术要求和检测方法》。

#### 6.4.2 无线基站用浪涌保护器的测试方法

基站电源系统用各级SPD的检测方法应符合YD/T 1235.2《通信局（站）低压配电系统电涌保护器测试方法》

#### 6.4.3 无线基站用信号保护器检测方法

基站信号用SPD的检测方法应符合YD/T 1542《信号网络浪涌保护器 (SPD) 技术要求和测试方法》

### 6.5 无线基站用设备防雷的测试方法

#### 6.5.1 试验前电性能检查

1) 将所有必要的辅助设备与被测主设备进行正常的连接，确信连接正确、可靠后对设备进行供电试运行。

2) 当稳定运行后，对设备的指示灯状态、工作状态显示和各接口电平一一进行检验，确认一切正常后，对设备断电，准备下一步雷击测试。

#### 6.5.2 无线基站设备耐混合波的雷电防护性能测试

##### 6.5.2.1 无线基站交流电源端口的雷击抗扰度试验

1) 根据使用电源的供电要求(单相、三相)选择如图7所示的测试接线方式。

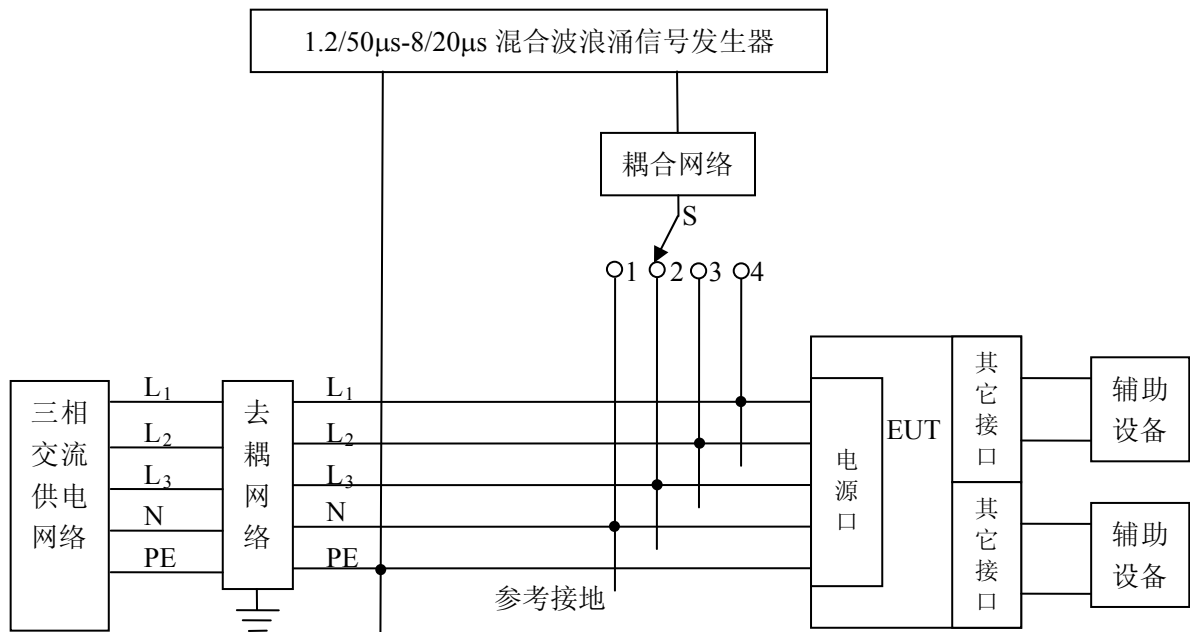
2) 接受试验的设备应在正常运行30分钟后进行，要求其负载是阻性的。

3) 试验过程中设备正常上电工作。

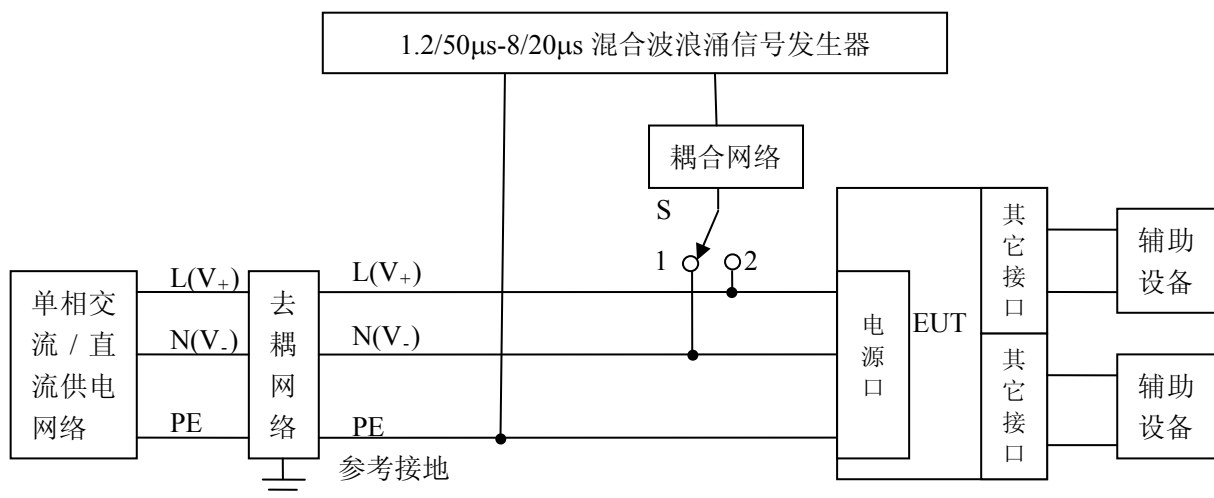
4) 试验要求对设备进行正、反极性各5次重复性测试，要求每两次试验的间隔时间不小于1分钟。

5) 通过转换图7中倒换开关S，实现对EUT的测试。

6) 共模测试为两线同时对地的测试。



a) 三相交流试验接线

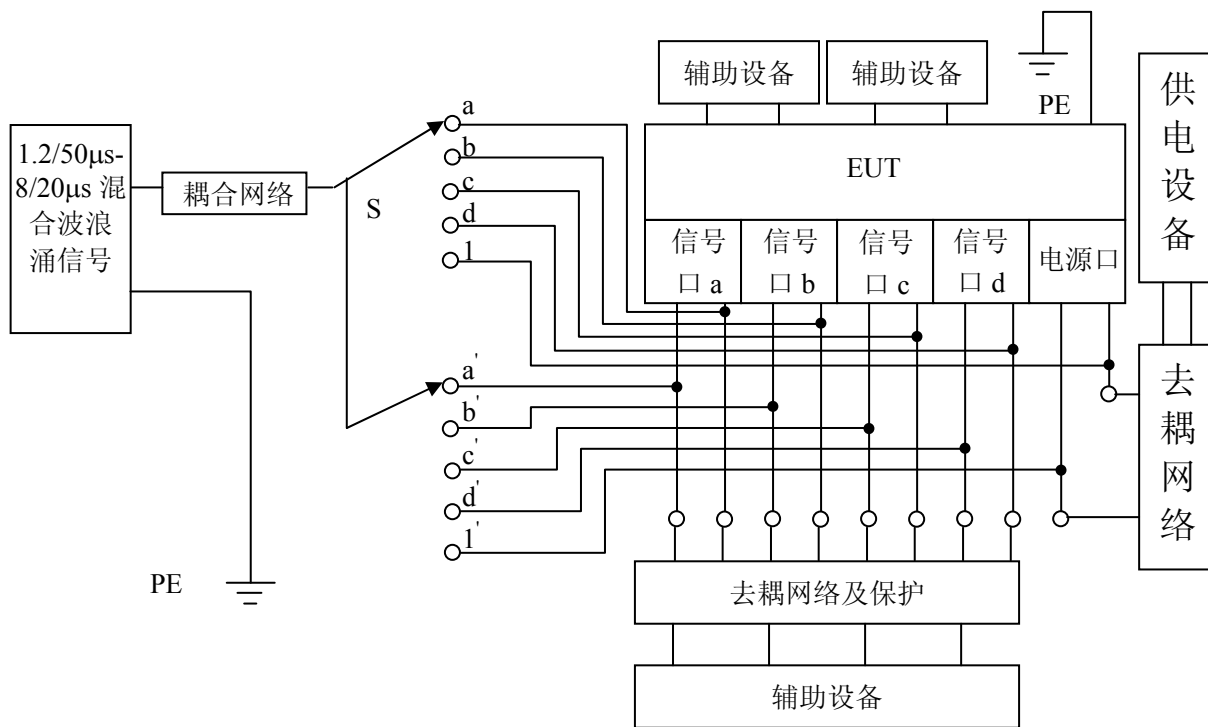


b) 单相交流试验接线

图 7 无线基站交流电源端口的雷击抗扰度测试方框图

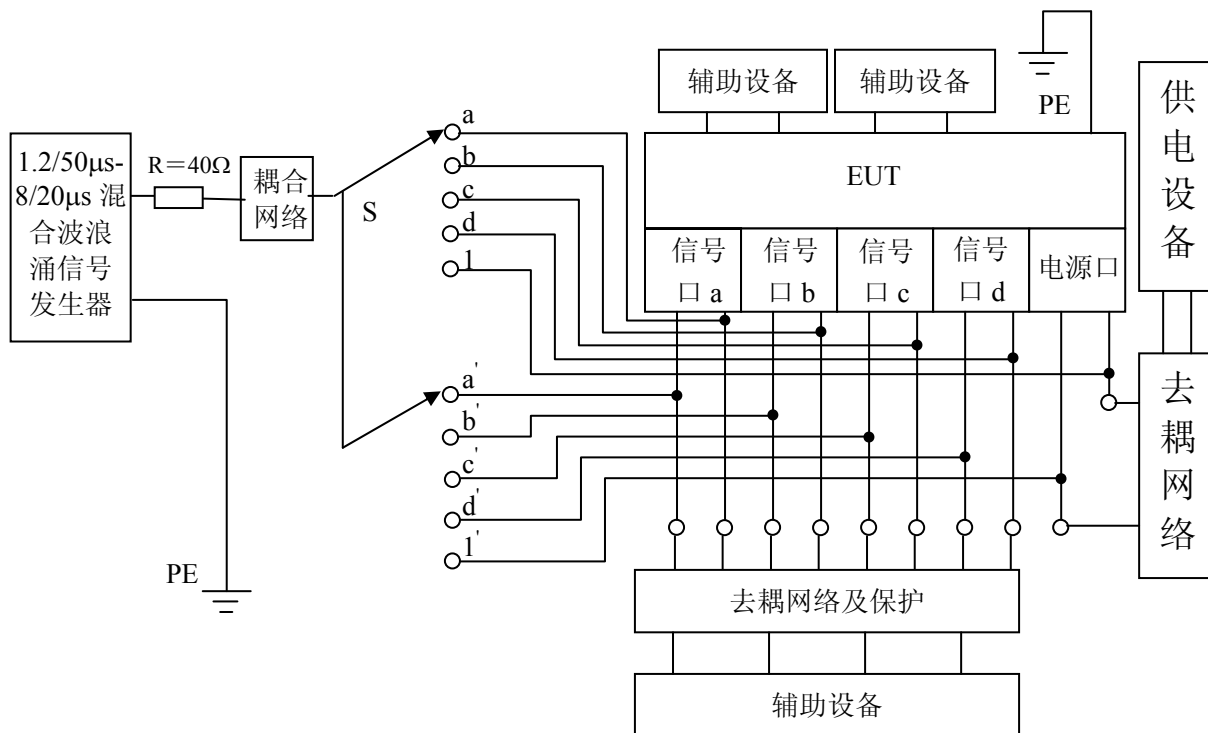
#### 6.5.2.2 无线基站环境监控及各类传输设备耐混合波的雷电防护性能试验

- 1) 环境监控测试接线方式如图8所示、各类传输设备测试接线方式如图9所示；
- 2) 接受试验的设备应在正常运行30分钟后进行；
- 3) 试验过程中设备始终处在正常工作状态下；
- 4) 试验要求对图示中各个接口分别进行试验，试验要求在正、反极性上各重复进行5次，每两次试验的间隔时间为1分钟；
- 5) 通过转换图8和图9中倒换开关S，实现对EUT的测试。
- 6) 共模测试为两线同时对地的测试。



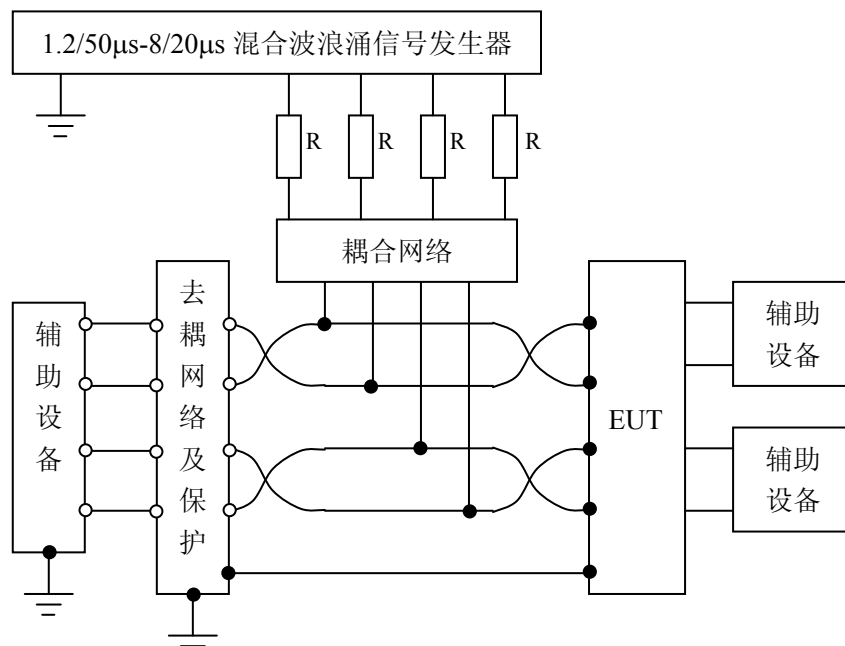
注：信号口 a、b、c、d 可以为各类不同信号口，如天馈口、网口、E1 口、串口、传感器口等。

图 8 环境监控设备信号口的雷击抗扰度测试方框图



注：信号口 a、b、c、d 可以为各类不同传输信号口。

a) 非平衡线信号口的雷击抗扰度测试方框图



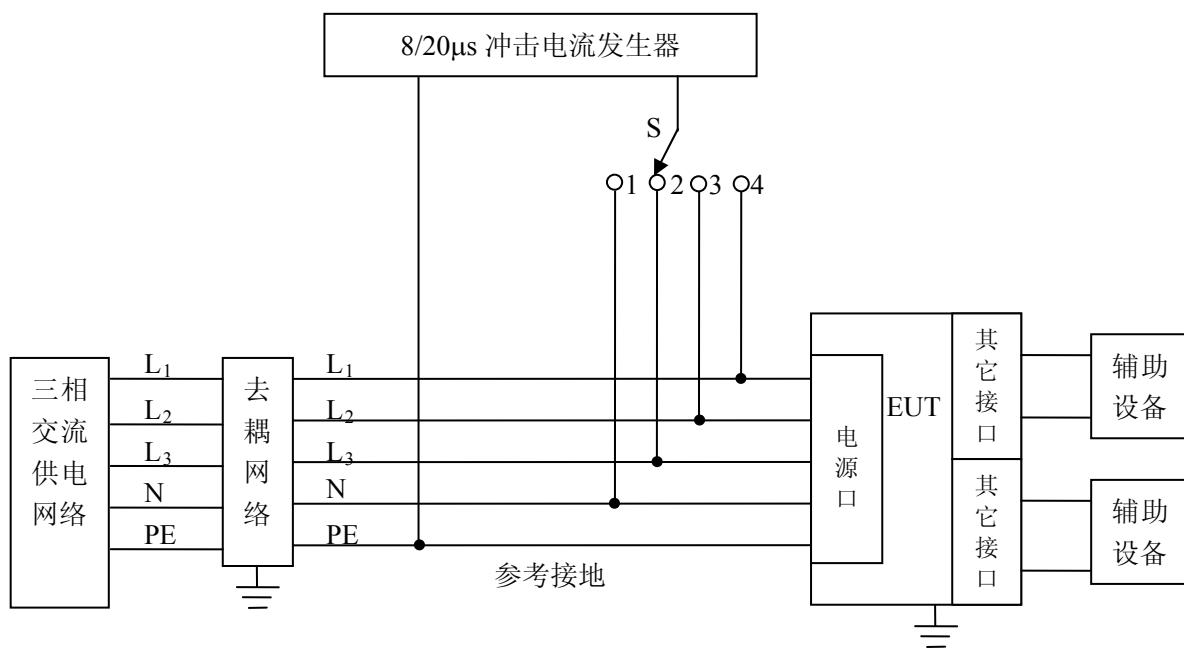
注：使用 1.2/50us 发生器是 R 的计算：例如，当  $n=4$  时， $R=4 \times 40 \Omega = 160 \Omega$ ，最大  $250 \Omega$ 。

b) 平衡线信号口的雷击抗扰度测试方框图

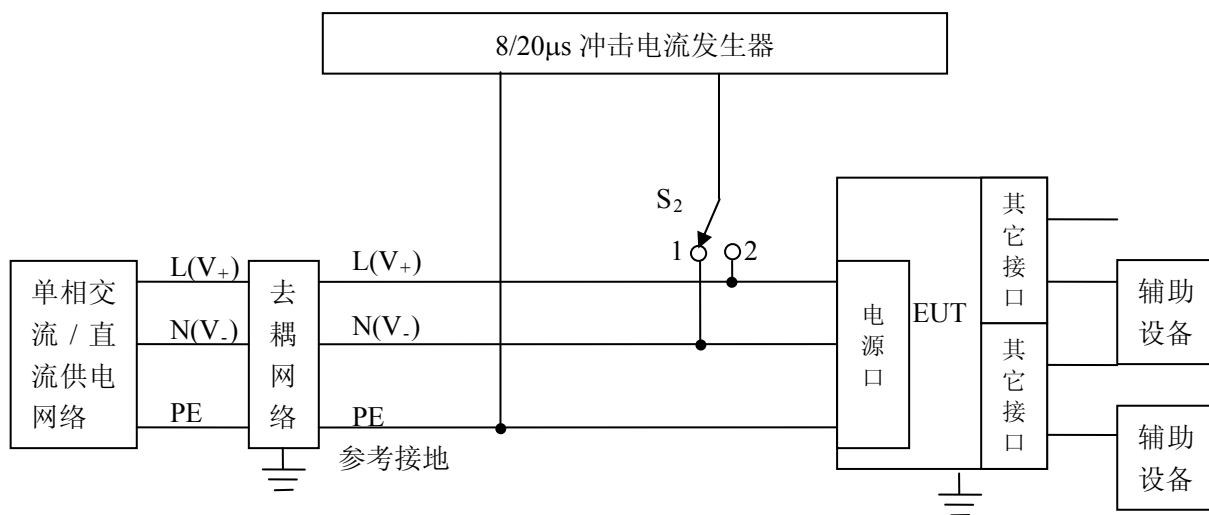
图 9 信号口的雷击抗扰度测试方框图

### 6.5.3 无线基站电源设备耐冲击电流的雷电防护性能试验

- 1) 根据所使用电源的供电要求(单相、三相)选择如下图10所示的测试接线方式。
- 2) 接受试验的设备应在正常运行30分钟后进行。
- 3) 试验过程中设备始终处在正常工作状态下。
- 4) 试验要求对图示中各个接口分别进行试验，试验要求在正、反极性上各重复进行5次，每两次试验的间隔时间不小于1分钟。
- 5) 通过转换图10中倒换开关S，实现对EUT的测试。
- 6) 共模测试为两线同时对地的测试。



a) 三相交流试验接线



b) 单相交流/直流试验接线

图 10 无线基站电源设备耐冲击电流的雷电防护性能试验

## 附录 A

### （资料性附录）

#### 馈线屏蔽层离塔处接地判定及同轴电缆安装 SPD 必要性计算

##### A.1 馈线屏蔽层离塔处接地与否判定

当馈线在离塔拐弯点之间做了互连，馈线和铁塔（走线架）之间不会存在电位差；当馈线在部离塔拐弯点不接地，馈线上的雷电流会减少  $1/3$ <sup>[1]</sup>。不接地的情况下，在离塔拐弯点处馈线屏蔽层和铁塔之间的电位差可以利用这个电流值计算出来。当馈线绝缘外皮的绝缘大于这个电位差的时候，馈线在离塔拐弯点不需要接地。这个电位差和外部走线架长度  $l$  成正比（即离塔拐弯点到机房馈窗口之间的距离）。

下面给出外部走线架长度临界值  $l$  的计算方法。

$$l = \frac{v}{0.2 \times \frac{di}{dt} \times \ln \frac{d}{r}} \quad (\text{A.1})$$

其中：

- $l$  馈线在离塔拐弯点到机房之间的长度（m）；
- $d$  馈线和走线架之间的最短距离（m）；
- $r$  馈线的半径（m）；
- $v$  馈线屏蔽层绝缘击穿电压（kV）；
- $di/dt$  馈线上变化的电流上升率（kA/μs）。

馈线上变化的电流上升率为：

$$\left(\frac{di}{dt}\right)_{\text{馈线}} = \frac{1}{3} \times \left(\frac{di_x}{dt}\right) \quad (\text{A.2})$$

每根馈线上分流的雷电流为：

$$I_x = 2 \times \alpha \times I \times \frac{r_x}{r_c} \quad (\text{A.3})$$

- $\alpha$  沿铁塔布铺的线缆分流雷电流的百分比（天线塔因子）；
- $I$  铁塔遭雷击时的总雷电流（kA）；
- $r_x$  馈线的半径（m）；
- $r_c$  沿铁塔铺设总线缆的几何平均半径（GMR）（m）。

表A.1给出几种导体典型布放方式下的几何平均半径 $r_c$ 。



表A.1 导体的几何平均半径

导体 (s)	图示	几何平均半径
实心圆形导体	图 A.1.a	R
实心矩形导体	图 A.1.b	$0.318 (a + b)$
七个线状导体	图 A.1.c	r
两个平行的导体	图 A.1.d	$(d^2 r_1' r_2')^{1/4}$
三个平行的导体	图 A.1.e	$(d_{12}^2 d_{13}^2 d_{23}^2 r_1' r_2' r_3')^{1/9}$
n个平行的导体	—	$(d_{12}^2 d_{13}^2 \dots d_{1n}^2 d_{23}^2 \dots d_{(n-1)n}^2 r_1' r_2' r_3' \dots r_n')^{1/(n \cdot n)}$

注意 – 考虑到雷电流的感应作用 (高 $di/dt$ )，导体内部的磁通量已被忽略不计(具有理想外皮)。对于. 对于一组导体来说， 已经考虑了导体外围的对称电流密度(临近效应忽略不计)。

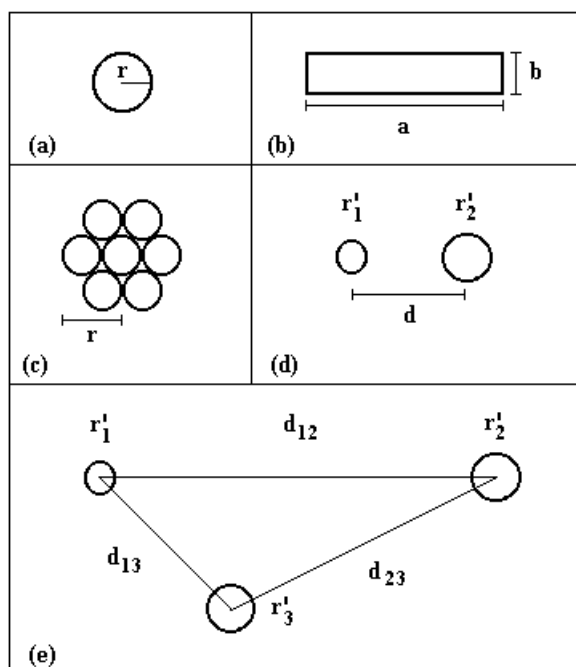


图 A.1 – 典型导体的几何平均半径

#### 应用举例：

图 A.2 给出的是一个移动通信站点典型配置的例子，基本参数如下：

铁塔：

- 塔高 30 m；
- 铁塔为四角塔，在铁塔底部，塔角间的距离为 3 m；
- 每条腿的直径为 0.1 m；
- 铁塔和机房之间的距离为  $l$  (m)。

馈线束（见图 A.2）：

- 沿铁塔平行铺设有 6 根馈线 ( $r = 12$  mm)；
- 馈线与铁塔的间距为 100 mm（相当于馈线固定夹的高度）；
- 馈线之间的间距为 50 mm；
- 馈线绝缘外皮的交流耐压 10 kV rms (14 kV<sub>p</sub>)；

- 馈线中心与走线架的间距为 100 mm（相当于馈线固定夹的高度）。

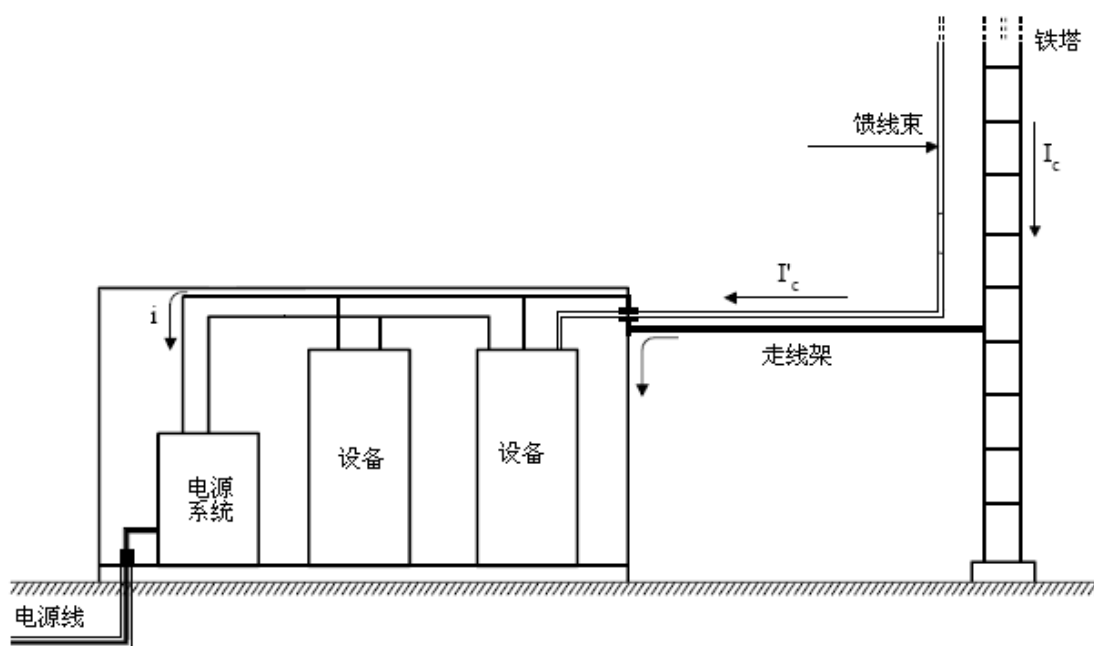


图 A.2 移动通信站点的例子

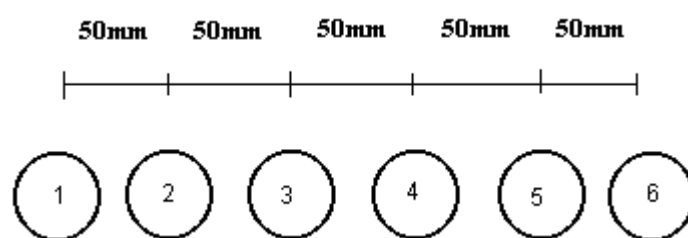


图 A.3 沿铁塔走线的馈线束（横截面图）

步骤 1：计算馈线的几何平均半径

馈线的间距：

$$d_{12} = d_{23} = d_{34} = d_{45} = d_{56} = 50 \text{ mm}$$

$$d_{13} = d_{24} = d_{35} = d_{46} = 100 \text{ mm}$$

$$d_{14} = d_{25} = d_{36} = 150 \text{ mm}$$

$$d_{15} = d_{26} = 200 \text{ mm}$$

$$d_{16} = 250 \text{ mm}$$

馈线半径

$$r = 12 \text{ mm}$$

根据表 A. 1 中的“n”个导体的公式计算馈线的几何平均半径：

$$r_c = 70.4 \text{ mm}$$

步骤 2：计算铁塔的几何平均半径

塔角的间距:

$$\begin{aligned}d_{12} &= d_{14} = d_{23} = d_{34} = 3000 \text{ mm} \\d_{13} &= d_{24} = 4242 \text{ mm}\end{aligned}$$

塔角半径:

$$r_1 = r_2 = r_3 = r_4 = 0.1\text{m}/2 = 50 \text{ mm}$$

根据附录 A 的表 A.1 中的“n”个导体的公式计算铁塔的几何平均半径:

$$r_t = (d_{12}^2 \times d_{13}^2 \times d_{14}^2 \times d_{23}^2 \times d_{24}^2 \times d_{34}^2 \times r_1 \times r_2 \times r_3 \times r_4)^{1/16} = 1175 \text{ mm}$$

步骤 3: 沿铁塔布铺的线缆分流雷电流的百分比 (天线塔因子)

塔中心与馈线束中心的间距为:

$$s = r_t + r_c + 100 = 1175 + 70.4 + 100 = 1345.4 \text{ mm}$$

根据公式 A.2 计算沿铁塔布铺的线缆分流雷电流的百分比 (天线塔因子):

$$\alpha = \frac{\ln \frac{s}{r_t}}{\ln \frac{s^2}{r_t \times r_c}} = 0.044$$

步骤 4: 计算每根馈线上分流的雷电流

根据图 A.3 计算每根馈线上分流的雷电流:

$$I_x = 2 \times \alpha \times I \times \frac{r_x}{r_c} = 2 \times 0.044 \times 12/70.4 \times I = 0.015 \times I$$

步骤 5: 计算馈线发生绝缘击穿的最长长度

根据标准 IEC 62305-1, 考虑最大的后续短闪击雷电流 50kA (0.25/100us), 在直击雷电流上升率为 200kA/us 时, 馈线沿走线架铺设会发生绝缘击穿的最长长度为:

$$\begin{aligned}l &= \frac{v}{0.2 \times \frac{di}{dt} \times \ln \frac{d}{r}} = \frac{14}{0.2 \times \frac{1}{3} \times 0.015 \times 200 \times \ln \frac{100}{12}} \\&= 33 \text{ m}\end{aligned}$$

如果机房与铁塔之间的距离不超过 33 m (既塔站外部走线桥长度), 馈线无需在离塔拐弯点和铁塔连接。

## A. 2 同轴电缆安装 SPD必要性

### A. 2. 1 计算步骤

是否在来自天线塔同轴电缆的内外导体间安装 SPD 可由下列步骤确定：

- 1) 确定沿天线塔流经电缆束雷电流的百分比用天线塔因子“ $\alpha$ ”表示。
- 2) 由组成电缆束的“ $n$ ”条导体分配总的雷电流。同轴电缆的分流正比于几何平均半径（GMR）。同时应兼顾束中的所有导体，如波导、同轴电缆、电力电缆、引下线和走线架上的接地线（如果它们是沿着天线塔电气连通的话）。
- 3) 用峰值电流乘以电缆长度和单位长度的转移阻抗，来计算同轴电缆中的横向电压峰值（ $V_t$ ）。对于管状电缆其在雷电流频率范围内的转移阻抗可以保守地认为等于直流电阻。
- 4) 用横向电压计算结果与电缆接至设备界面的耐受能力比较。如果横向电压大于设备界面的耐受能力，则应安装SPD。下列式子给出  $V_t$  的计算。

$$V_t = I_c \alpha L z_t r_x / r_{all} \quad [kV] \quad (A. 4)$$

上式中，

- $I_c$ ：临界电流；
- $z_t$ ：单位长度的转移阻抗；
- $\alpha$ ：附录 A 给出的天线塔因子；
- $L$ ：同轴电缆长度；
- $r_c$ ：同轴电缆的GMR；
- $r_{all}$ ：导体束中所有导体的GMR之和。

注：评价同轴电缆分流所用基准是近似的，当电缆处于束中心部位，此基准导出的结果将是保守。

### A. 2. 2 电流沿天线塔的分配因子（ $\alpha$ ）

雷击发生的瞬间，天线塔导体中的电流分配由导体间的磁链决定。天线塔因子“ $\alpha$ ”定义为流过由通信线和辅助导体构成线束的电流占总雷电流的百分比。典型的情况有：

#### A. 2. 2. 1 管式塔

对于管式塔可能遇到下列典型情况（见图 A. 4 管式塔几个距离示意图）。

如果通信电缆置于塔内，总的雷电流流过塔身，则  $\alpha=0$ 。如果通信电缆置于塔外，则电流分配由下式计算：

$$\alpha = \ln(s / r_t) / \ln(s_2 / r_t r_c) \quad (A. 5)$$

上式中，

- $s$ ：塔轴到导线束轴之间的距离；
- $r_t$ ：塔的几何平均半径；
- $r_c$ ：导线束的几何平均半径。

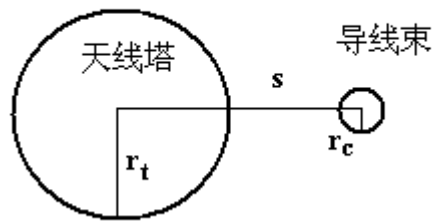


图 A.4 管式塔几个距离示意图

#### A. 2. 2. 2 三脚塔

对于三脚塔可能遇到下列典型情况（见图 A.5 三脚塔的几个距离的示意图）：

- 1) 电缆在离某塔脚任意距离“S”处：

$$\alpha = \{1 + 3 \ln (s / r_c) / \ln [s (3d^2 + s^2 - 3ds) / (3r_t d^2)]\} \quad (\text{A.6})$$

- 2) 电缆处于塔中心 (s = d)：

$$\alpha = [1 + 3 \ln (d / r_c) / \ln (d / 3r_t)] - 1 \quad (\text{A.7})$$

- 3) 电缆处于侧边上 (s = 3d/2)：

$$\alpha = [1 + 3 \ln (3d / 2r_c) / \ln (3d / 8r_t)] - 1 \quad (\text{A.8})$$

- 4) 电缆靠近某塔脚 (s << d)：

$$\alpha = [1 + 3 \ln (s / r_c) / \ln (s / r_t)] - 1 \quad (\text{A.9})$$

距离“d”是从天线塔脚到塔轴之间的距离。

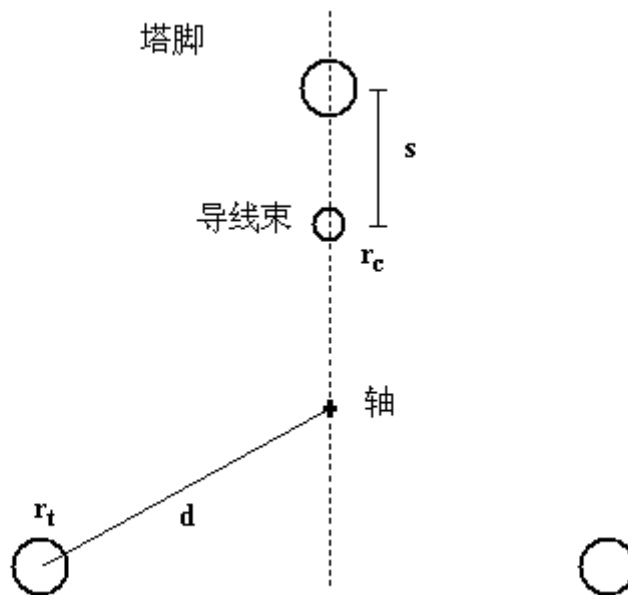


图 A.5 三脚塔的几个距离的示意图

### A. 2. 2. 3 四脚塔

对四脚塔可能遇到下列典型情况（见图A. 6 四脚塔的几个距离的示意图）

1) 电缆在离某塔脚任意距离 ” S” 处（见图A. 6）.

$$\alpha = \{1 + 4 \ln (s / r_c) / \ln [s (2d - s) / (2 r_t d) ] \} - 1 \quad (\text{A. 10})$$

2) 电缆处于塔心 （s = d）

$$\alpha = [1 + 4 \ln (d / r_c) / \ln (d / 2 r_t) ] - 1 \quad (\text{A. 11})$$

3) 电缆靠近某塔脚 （s≪d）

$$\alpha = [1 + 4 \ln (s / r_c) / \ln (s / r_t) ] - 1 \quad (\text{A. 12})$$

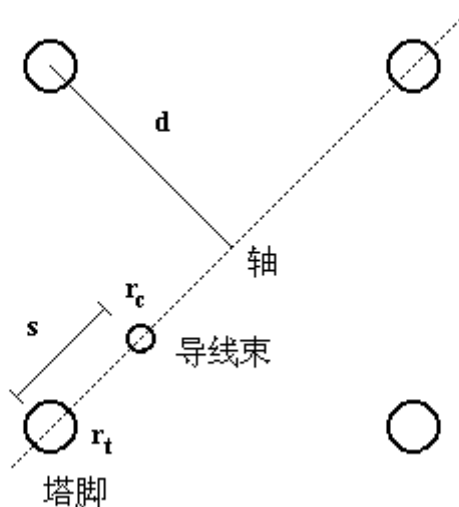


图 A. 6 四脚塔的几个距离的示意图

参考文档【1】: IX SIPDA, International Symposium on Lightning Protection, *Current distribution in a telecommunication tower struck by rocket-triggered lightning*, November 2007

**附录 B**  
**(资料性附录)**  
**无线基站雷击的四个端口**

**B.1 电源端口**

就雷击损坏比例而言电源类占 90%左右（包括变压器、配电箱、稳压器、整流模块、空调主板、照明系统等）。这些被雷击损坏的设备都与电源线连接，在雷击时由于地电位升高或雷电磁场在设备间所产生的浪涌导致了设备的绝缘及内部元器件被击穿。

**B.2 信号/控制端口**

当信号类设备如无线基站的 CPU、用户板、2Mb/s 接口、微波传输接口、环境监控、传感器、消防控制板、小微波等遭受雷击时，被雷击损坏的设备往往都与机房内的信号线连接，在雷击时由于地电位升高或雷电磁场在设备间所产生的浪涌导致了设备的绝缘及内部元器件被击穿。

**B.3 天馈线/馈电端口**

1) 天馈线端口：以往人们将来自天馈线的雷电流作为对基站雷电的主要引入渠道，而通过理论分析和计算表明，天馈线端口不是雷电的主要渠道，其主要理由如下：

——天馈线在避雷针的保护之下，属于LPZ<sub>0B</sub>区，在这个区域仅有感应雷影响；

——由天线原理分析可知，由于天线的芯线与外皮在低频时是导通的，而在高频时才是开路的，而对雷电频段来讲其外护层和芯线均是相对接地的；

——基站天馈系统被雷击损坏的事例极少，计算结果和实际应用效果均表明：来自馈线端口的雷电流及雷电压量级，一般不会超过 RBS 接口的保护水平。

2) 各类分布式基站与传统的基站不同的是RRU拉远系统：RRU拉远系统包括直流、控制、信号、GPS、微波、光传输设备等方式，其采用的传输介质有射频电缆、控制线、直流馈电线、中频电缆、光缆等。这些拉远系统由于暴露在外部环境，其传输介质在LPZ0<sub>B</sub>区（除光缆以外，这些传输介质均采取同轴电缆或综合电缆的形式，实际属于LPZ0<sub>B</sub>与 LPZ1 的临界区），因此增加了雷电引入的可能性。

如果 RRU 拉远系统采取光缆拉远时，RRU 系统遭受雷击时可能损坏的设备包括与 RRU 直接相连的直流拉远系统、GPS、微波设备；

如果 RRU 拉远系统采取射频电缆拉远时，RRU 系统遭受雷击时可能损坏的设备包括与 RRU 直接相连的直流、控制系统、射频、中频电缆拉远系统、GPS 设备及微波设备端口等。

如果 RRU 拉远系统采取中频电缆拉远时，RRU 系统遭受雷击时可能损坏的设备包括与 RRU 直接相连的直流拉远系统、控制拉远系统、GPS 设备及微波设备的端口。

#### B. 4 接地端口

对于接地端口主要是瞬间的电位升对设备的影响。当有雷击通过地网泄放时，则会造成瞬间的地电位抬升，使得直流电源正、负极间的瞬态电位差变大，造成设备敏感部位（整流模块和收发信机等）损坏。由于地电位抬升有时会从前端（开关电源直流输出口）引入而损坏设备，也有可能从后端（用电设备如 GSM 的直流输入口）引入损坏设备，所以应在直流电源两端分别提供防雷保护措施，形成直流电源正、负极与地的瞬态等电位。防止因地电位升高造成的地电位反击损坏设备。在雷暴日较多、雷电强度较大的地区，特别是有铁塔的基站，在开关电源的直流端输出侧提供防雷措施。



## 附录 C

### (资料性附录)

### 接地

建在山区的无线基站所处地理环境千差万别,其土质多为碎石土壤、风化岩或花岗岩石,表面土壤仅十几至几十厘米厚,大地电阻率高,地网接触电阻大,要达到国内外一般标准所要求的接地电阻小于  $5\ \Omega$  存在众多问题, 因此其接地系统的合理设计,是当前无线基站接地工程中的重要课题。由于目前基站地网的类型很多, 基站建筑物环境因素各异, 因此不可能用一种模式解决所有问题。

#### C.1 无线基站接地的目的

建在山区的无线基站, 其地网接地电阻值决定于其所处的地理环境和土质(一般从几欧姆至几十欧姆不等), 理论上讲防雷用接地电阻越小越好。由于流过接地装置的雷电流会使其接地点的地电位升高, 产生过高的接触电压和跨步电压, 由此可见, 地网设计要从防雷保护的角度出发, 尽可能降低接地电阻值。

1) 按照 IEC60950《信息技术设备的安全规范》采用通信开关电源供电的通信设备属于基本绝缘类设备。这类设备的外露可导电部分一定要可靠接地, 其目的是为了防止设备故障时的危险电压对人身构成电击危险。

2) 对以分离器件为主的模拟通信设备, 考虑干扰信号的地环流影响, 其设备需要独立的工作接地, 但对于以大规模集成电路器件为主的数字通信设备, 其设备本身的抗干扰能力较强, 但由于其内部器件的抗电涌能力极差, 所以工作地应直接与保护地合二为一。

3) 对于直流系统(-48V 和+24V), 其接地的目的是为了固定(均衡)电位, 防止供电系统故障后, 危险电压对人身和设备构成危险。

4) 为防止静电对设备本身的危害, 应直接接保护地。

5) 为给窜入系统的雷电能提供一个泄放的渠道, 应直接接保护地。

综上所述, 基站接地电阻的设计原则是供电系统在发生对地短路故障时, 地电位升不会对人身和设备产生危险影响。

#### C.2 基站地网的组成形式

无线基站地网设计的主要目的在于: 在流往地中的雷电流路径上得到最低的接地电阻, 在保护范围内把雷电流产生的电势保持在安全范围内。

一个由多接地体组成的地网可以近似地当作一块孤立的平板, 其电容主要是由它的面积决定, 附加于这个平板上的有限长度(2—3m)的垂直接地体, 不足以改变决定电容大小的几何尺寸, 因而是电容增加不大, 亦即接地电阻减小不多。这里接地电阻  $R$  为:

$$R = \frac{1}{C} \frac{\varepsilon \oint S E ds}{\frac{1}{\rho} \oint S E ds} = \frac{\rho \varepsilon}{c} \quad (C.1)$$

上式中,

R: 接地体的接地电阻 ( $\Omega$ );

C: 接地体的电容 (F);

$\rho$ : 大地电阻率 ( $\Omega \cdot m$ );

$\varepsilon = \varepsilon_r \frac{1}{4\pi \times 9 \times 10^9}$  大地的介电系数 (F/m);

$\varepsilon_r$ : 大地的相对介电系数。

由此可见: 增大接地网的面积是减少接地电阻最有效途径。只有当附加的垂直接地体长度与地网等效半径可比拟、平板趋近于一个半球时, 电容才会有较大的增加, 才能对降低接地电阻起作用, 但即使在这种情况下, 也仅能减小 36.3%。这个结果可由下式推出:

如果地网为等效半径为  $r$  的圆盘, 埋深为零, 则:  $R_1 = \rho / 4r$ ; 而半径为  $r$  的半圆球时:  $R_2 = \rho / 2\pi r$ ,  $R_1/R_2 = 0.637$ 。

另外, 垂直接地体对减少接地电阻的作用不大。那种认为加密垂直接地体可减小接地电阻的观念是不可取的, 从宏观分析, 应把地网看作一个二维的平板, 采用不长的垂直接地体 (垂直接地体的长度与地网等值半径相比, 至少小一个数量级) 不论打入多少根, 即使密集成厚度为 2-3m 的实体钢板地网, 也不会使接地电阻有多大变化。

### C.3 地网大小及网格数与接地电阻的关系

#### 1) 地网大小与接地电阻的关系

无线基站的接地装置一般地网组成, 如图 C.1 所示:

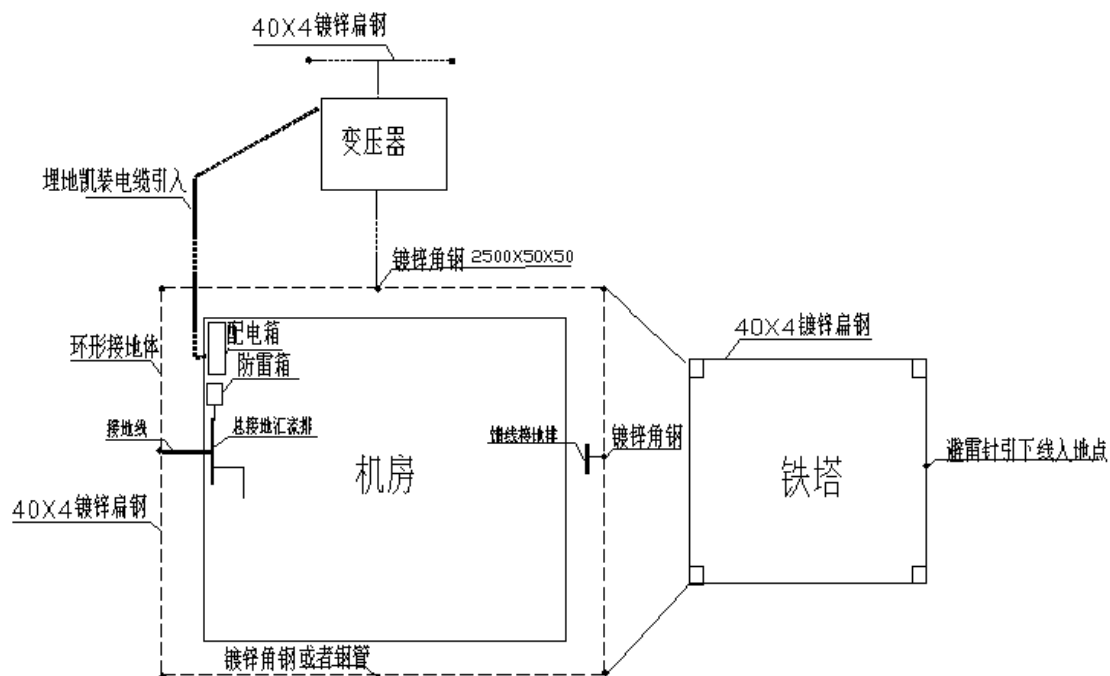


图 C.1 基站地网的组成

由图可见，各地网间形成了环路互联的联合接地形式，有利于均衡基站地电位，增加雷电流散流能力。同时也有效的降低了接地网的阻值。

作为复合接地体（以水平接地体为主，且边缘闭合）的接地电阻：

$$R=0.44 \frac{\rho}{\sqrt{A}} + 0.159 \frac{\rho}{L} \ln \frac{8A}{hd \times 10^4} \quad \text{bb} \quad (\text{C.2})$$

上式中：

- A：接地网的总面积（ $\text{m}^2$ ）；
- L：接地体的总长度，水平和垂直接地体的总和，（m）；
- D：水平接地体的直径，（m）；
- H：水平接地体的埋深，（m）；
- $\rho$ ：土壤电阻率（ $\Omega \cdot \text{m}$ ）。

从公式可以看出接地电阻主要取决于接地网的面积，而公式的后一项说明接地网的埋深，接地体的直径以及网内的水平和垂直接地体的总长度对减少接地电阻的作用很小，通常仅占R总数的 8%左右。根据GBJ-65-83《工业与民用电力装置的接地设计规范》<sup>(2)</sup>，对于上述复合式接地网的工频接地电阻的计算，上式R约为：

$$R = \frac{\sqrt{\pi}}{4} \sqrt{\frac{\rho}{A}} + \frac{\rho}{L} = 0.443 \frac{\rho}{\sqrt{A}} + \frac{\rho}{L} \approx 0.5 \frac{\rho}{\sqrt{A}} \quad (\text{C.3})$$

### 2) 接地电阻与基站地网面积的大小

从  $R = 0.5 \rho / \sqrt{S}$  可以看出，在相同大地电阻率的条件下，要使地网接地电阻减少，就要增加地网的面积，表 C.1 列出了在不同土壤电阻率时保持 R 为  $5 \Omega$  时的地网面积。

表 C.1 R 为  $5 \Omega$  时大地电阻率与地网大小的关系

$R = 0.5 \rho / \sqrt{S} = 5 \Omega$ 时						
$\rho(\Omega \cdot \text{m})$	100	200	400	800	1000	1600
$S(\text{m}^2)$	100	400	1600	6400	10000	25600

由此可见，在高电阻率的山区，基站地网的接地电阻要控制在  $5 \Omega$  内是难以实现的。

### 3) 地网网孔个数和接地电阻的关系

地网中相距较近的垂直接地体不能充分利用，这种垂直接地体间的相互屏蔽引起的屏蔽效应是由电流流入大地时电场重叠而产生的（接地体的电阻主要是靠位于接地体附近土壤区域的大地电阻率所决定，由于上述电场是叠加的，所以每一个垂直接地体附近的电流密度变得不均匀，使得其附近土壤的有效面积减少、接地阻值增加）。当接地体按照同心圆的方式（即一环套一环）或地网以直角小方格配置时，由于接地体间的相互屏蔽作用，其利用率极低，此时设置在网格结点上的垂直接地体的利用系数仅仅达到 0.15~0.20。因为此时对接地电阻值起主要作用的是接地体外环部分，而不是网格内部接地体的数量，所以增加地网内网格数目对减少地网接地电阻值既不经济也非优化设计。

据有关资料介绍：如果一般复合式地网的接地电阻效率达到 100%，则实心钢板地网接地电阻效率约为 90%，而中空的环形地网（只有周边有接地体）的接地电阻效率约为 110%，房屋建筑物基础（在一般有钢筋的地基较深，而建筑物中间有空隙）的接地电阻约为 80%。可见加密水平接地体，增设垂直接地体对改善无线基站地网的接地电阻无显著作用。

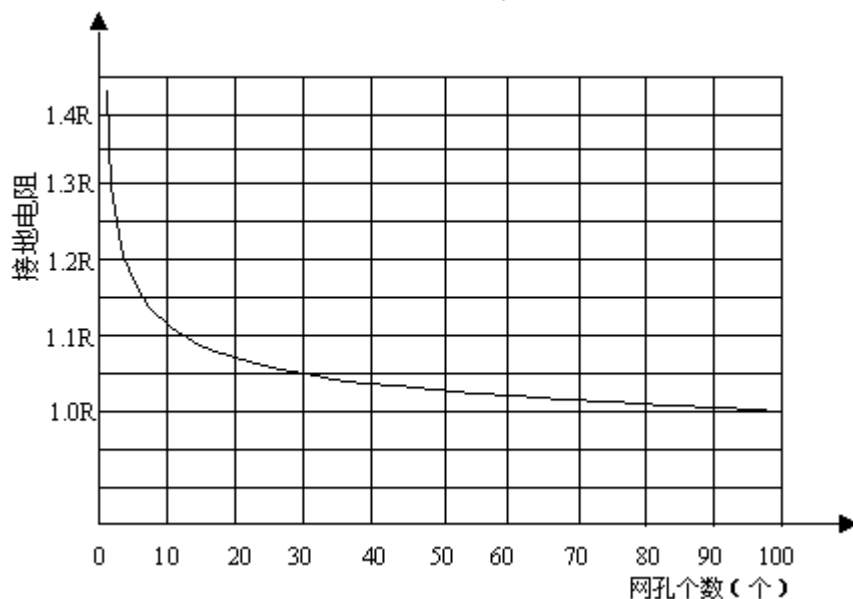


图 C.2 网孔个数和接地电阻的关系

接地电阻与接地网孔的关系：美国《电磁兼容性设计手册》(AFSC—DH1—4)认为：“从设计的经济效益方面考虑，地网应尽可能覆盖更大的面积以降低其接地电阻，而且网孔数目不宜多于 16 个”。这与我国水利电力部门的试验结果是相符的；当接地网孔大于 16 个时，接地电阻减小很慢，例如 16 个与 2 个网孔的正方形接地网相比，接地电阻减少 23%；与 4 个网孔的正方形接地网相比，仅减小 10%。网孔个数和接地电阻的关系用图 C.2 表示（图中 R 为平板的接地电阻）。

由此可见，加大地网网格的密度以降低接地电阻的方式并非优化设计所推荐的，如将多于 16 个网孔的接地体用来增大接地网的面积，对于减小接地电阻的效果要好得多。

#### C.4 地网与冲击半径及无线基站地网最佳面积大小

对于建在山上的无线基站，由于所处位置往往比周围的山地显得突出，地理位置又与雷电的活动区域有着一定的联系，加之山上一般多为岩石或多石土壤，要使防雷接地电阻在有限的面积内做的很小（如  $5\Omega$ ）是不可能的，为此建在山上的基站，采用了均衡大地电位，实施联合接地及改进地线的敷设方法，这样在雷击时，由于站内设备间的冲击电压均衡，增加了雷电泄流能力，因而对基站的接地电阻大小要求不必过于严格，但应充分考虑均衡大地电位与接地网的经济合理使用面积问题。

##### C.4.1 接地网与冲击半径

一个避雷针的接地体接闪时所呈现的电阻，与直流、工频电流的接地电阻有显著不同，对于雷电在土壤所发生的物理过程和工频有着相当大的区别，它们的最主要区别在于雷电的形成过程以及土壤对高频电磁波传输特性所决定的。雷电流是个冲击波，而且具有非常大的电流值，由于雷电流幅度很大，在接地体附近形成的电场强度超过了土壤的冲击击穿强度而产生电弧式火花放电，结果相当于增加了接地体的尺寸，因此，在实际雷电流作用下接地网的接地电阻值减小了。

雷电流通过接地体向大地散流时有下列特征：

1) 当雷电流通过接地装置流入土壤时,由于电流幅值很大,在接地体周围形成了强大的电场,土壤呈现的电阻率,也受到电场强度的影响,随着电场强度增加,也即随着电流密度的增大,土壤电阻率等效减少。

2) 雷电流相当于高频电源,除接地体的电阻和电导外,接地体的电感和电容对冲击阻抗发生作用,其作用的大小,取决于接地体的形状、冲击电流的波形和幅值以及土壤中的电参数  $\epsilon_r$  和  $\rho$ , 即地的介电系数和大地电阻率。

3) 冲击电流入地后,由于高频电流的集肤效应,不象直流和工频电流那样穿透很深的地层,而是在距离地面较浅的通道上流动。

4) 雷电流通过接地装置流入土壤时,当接地体周围电场强度达到一定数值时,电压和电流不是直线关系,而呈现非线性。

所以,冲击电流或雷电流通过接地体向大地散流时,不再是用工频接地电阻,而是用冲击接地电阻来量度冲击接地的作用。接地装置对地冲击电压的幅值与冲击电流幅值之比,则称为冲击接地电阻。由上述冲击接地电阻的定义可以看出,冲击接地电阻是一个人为的概念,并无具体的物理意义,因为冲击电压幅值和电流幅值往往不是在同一时间出现的(由于接地体的电感作用,冲击电压幅值出现在冲击电流幅值之前),把两个在不同时间发生的量之比定义为冲击接地电阻并无物理意义,但在工程上利用这个定义,可在已知冲击电流的幅值和冲击电阻的条件下,计算出冲击电流通过接地体散流时的冲击电压幅值。

一个接地地网的面积不论有多大,在工频时,是可以把接地体的表面近似地看成等位面,故接地网全部面积都能得到利用。但是,许多根接地体在地中构成的网状接地体,在冲击电流的作用下,当土壤电阻率和介电系数一定时,接地网的冲击等效半径就是一个常数,而冲击等效半径要比接地网面积的等值半径小得多,即在冲击电流的情况下,仅仅利用接地网很小的一块面积,在工频时,接地电阻之所以和接地网面积的平方根成反比,是因为接地网上的电位比较均匀,全部接地体都起着散流作用,接地体得到充分利用的缘故,但在雷电流作用下,情况就不同了。由于接地体的电感作用,接地网的电位呈现不均匀性,离开雷电流引入点愈远的地方,接地体上的电位就愈低。甚至电位为零,其变化规律按指数曲线衰减,只有雷电流引入点附近一块接地网才起着散流作用,而且散流的程度与这一块面积上的电位分布成正比。

#### C. 4. 2 地网的最佳面积大小

冲击等值半径与接地网面积的等值半径之比:

$$\frac{r_{ch}}{r} = \frac{\rho\sqrt{\epsilon_r}}{60\sqrt{\pi A}} \left(1 - e^{-\frac{60\sqrt{\pi A}}{\rho\sqrt{\epsilon_r}}}\right) \quad (C. 4)$$

式中:  $r_{ch}$  ——冲击等值半径 (m),  
 $r$  ——接地网面积的等值半径 (m);  
 $A$  ——接地网面积 ( $m^2$ );  
 $\rho$  ——土壤电阻率 ( $\Omega \cdot m$ );

$\epsilon_r$  ——地的相对介电系数,这里  $\epsilon_r=9$ 。

表 C. 2 在不同土壤电阻率条件下,冲击半径与接地网等值半径的利用率百分比

$\rho(\Omega \cdot m) \backslash r_{ch} \ r(\%)$	A=100	A=400	A=1600	A=6400
250	53.44%	33.19%	17.57%	8.82%
500	71.63%	53.44%	33.19%	17.57%
1000	84.19%	71.63%	53.44%	33.19%
2000	91.6%	84.19%	71.63%	53.44%

在不同大地电阻率和地网面积条件下,两者之比可为基站地网优化设计提供考虑方案。表C.2 列出了土壤电阻率 $\rho=250\sim 2000\ \Omega \cdot m$ ,地网面积 $A=100\sim 6400m^2$ 时冲击等值半径与接地网面积的等值半径的变化规律。从冲击等值半径与接地网面积的等值半径变化规律得出一个结论,在无线基站地网优化设计时,根据无线基站所处地理环境,其接地网的大小应控制在 $400m^2$ 内,此时地网在雷击时其冲击等值半径利用率在高电阻率土质的情况是较高的( $2000\ \Omega \cdot m$ 时为 $84.19\%$ ),在大地电阻率低于 $500\ \Omega \cdot m$ 时,地网可小于 $400m^2$ 。如果再外加外引水平接地体,地网的利用率可更高。另外,考虑到垂直接地体能起到扩大泄放雷电流作用,可在冲击等值半径处打入一圈垂直接地体,其等效半径应以铁塔为中心。此时垂直接地体是为了加速泄放雷电流,而不是以减小地网接地电阻为目的。

### C.5 网格与均衡电压接触系数的关系

实施无线基站联合接地以达到均衡电位的目的,除了减小设备上的地电位反击外,另一个目的是减小地网内的最大接触电位差(当电流流过接地装置时,大地表面形成分布电位,在地面上离设备水平距离为 $0.8m$ 处与沿设备外壳,或墙壁离地面的垂直距离 $1.8m$ 处两点间的电位差,称为接触电位差,人体接触该两点时所承受的电压,称为最大接触电压),接地网地面的最大接触电势,可近似按下式计算:

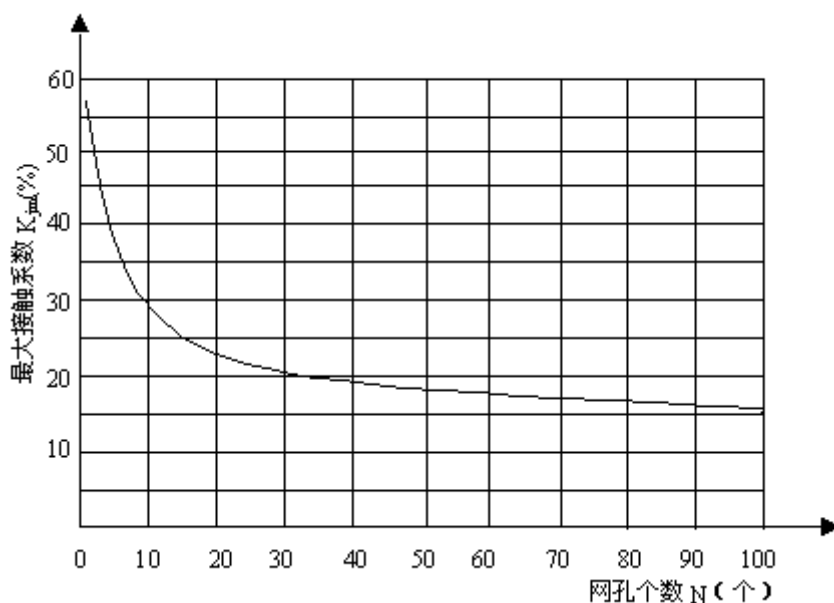
$$E_{jm}=K_j E_m \quad (C.5)$$

式中:  $E_{jm}$  ——最大接触电压(伏);

$K_j$  ——接触系数;

$E_m$  ——接地装置的电位(伏)。

其最大接触系数 $E_{jm}$ 与地网网孔的个数关系由图C.3所示。



图C.3 最大接触系数 $E_{jm}$ 和网孔个数 $N$ 的关系曲线

(接地网面积 $A=20 \times 20\text{m}^2$ , 接地体直径 $d=0.02\text{m}$ , 埋深 $h=0.6\text{m}$ )

由此可见, 最大接触系数随网孔个数增加而下降的梯度和接地电阻随网孔个数增加而下降的梯度是相似的, 这说明了用增加网孔个数而减小接触系数和减小接地电阻一样, 不能作为主要方法。一般地网网孔可采用 $(3 \times 3) \text{ m}^2$ 或者 $(5 \times 5) \text{ m}^2$ 。当然, 最好能利用冲击电流进行现场实际测量和校核。

## C.6 功能分类接地与统一接地

原来各个标准分门别类的按照功能将基站的接地分为: 工作地、交流保护地、直流保护地、防雷地, 实施联合接地统一接地参考点后, 接地引接点相同(都引至同一个地网), 所谓的工作地、保护地、防雷地已经不复存在, 统称之为接地。

将基站内通信系统、设备和装置的接地系统所包含的所有电气连接和器件{包括建筑物的基础地和外设接地系统的接地体(地网)、接地引入线、接地汇集线、接地线}, 及与地网相连的电缆屏蔽层、与地相连的设备外壳或裸露金属部分、建筑物钢筋、构架在内的复杂系统及各类管线进行等电位连接, 组成联合接地系统。采用了联合接地, 按功能分类的接地方式, 自然统一为一体。

## 附录 D

### (资料性附录)

#### 典型地网示意图

几种典型地网示意图分别如图D. 1、图D. 2、图D. 3、图D. 4、图D. 5所示。

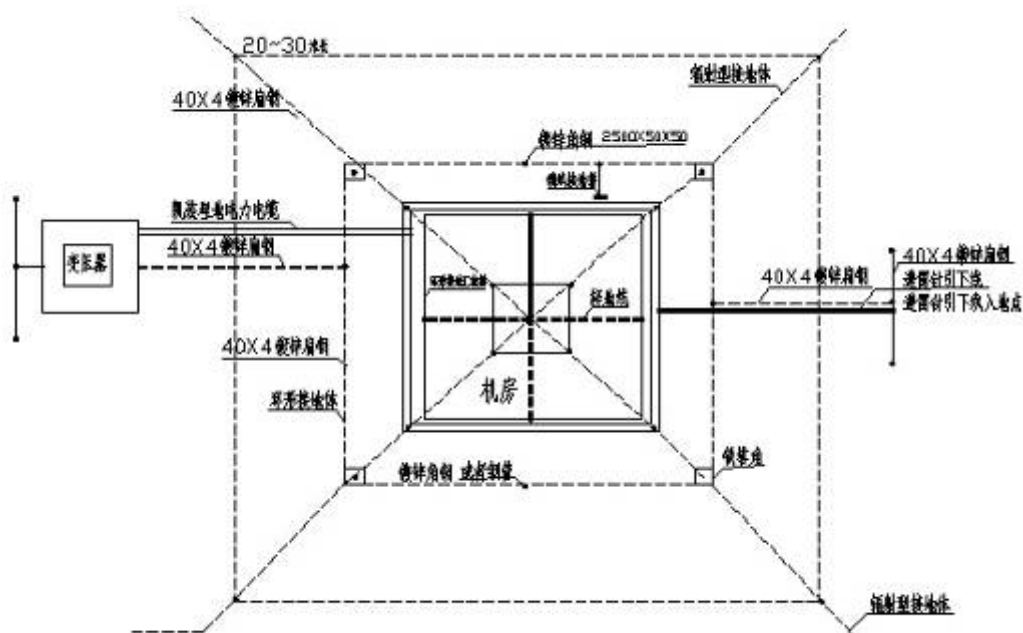
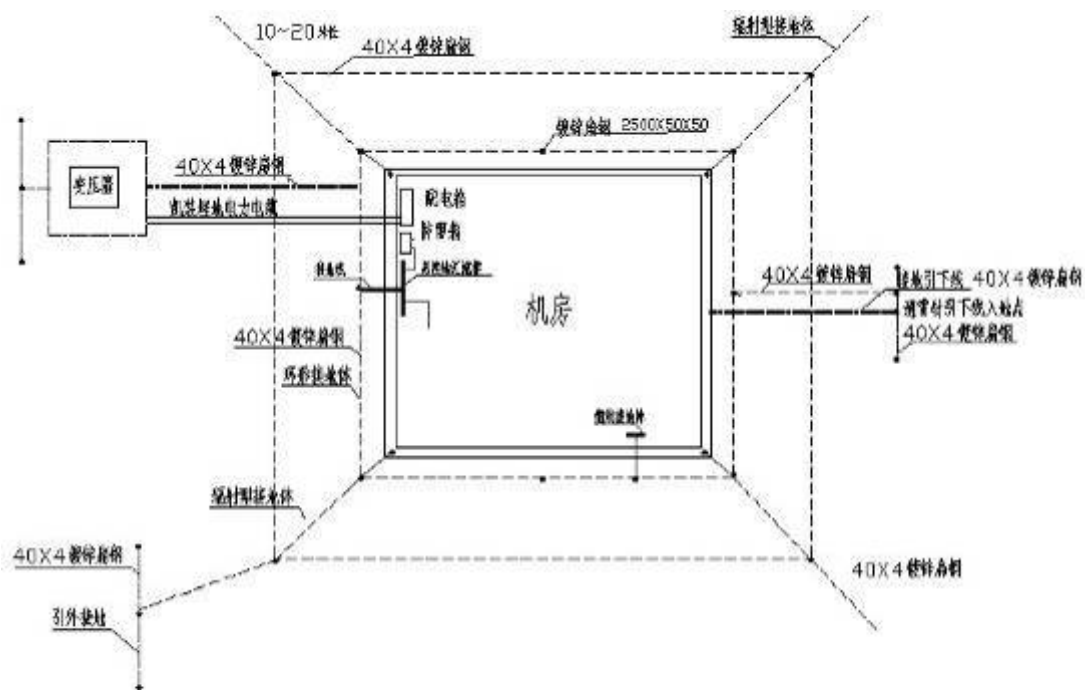


图 D. 1 铁塔包含机房地网示意图



注：如需要采用引外接地时，可将引外接地体埋在低电阻率地区或者水源的地区；



图 D.2 铁塔建在机房之上时地网示意图

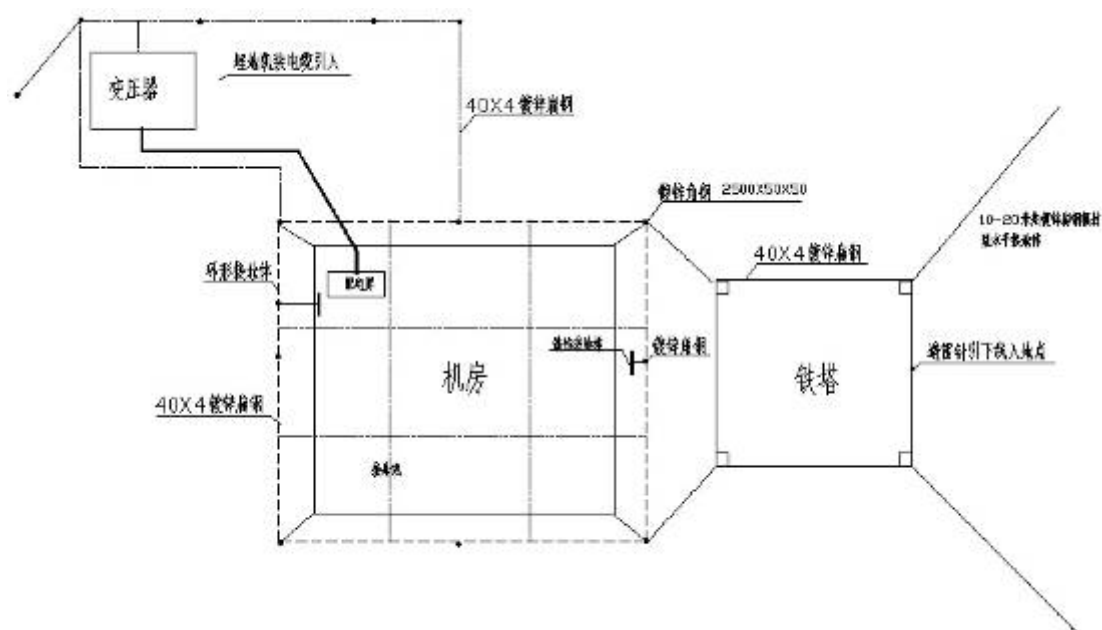


图 D.3 铁塔建在机房旁边时地网示意图

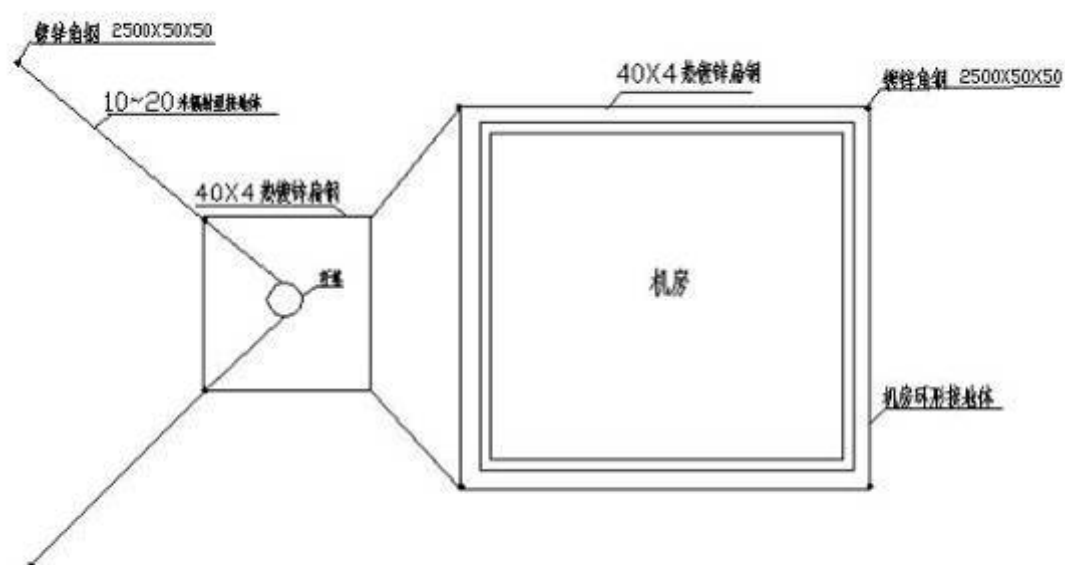


图 D.4 杆塔建在机房旁边时地网示意图

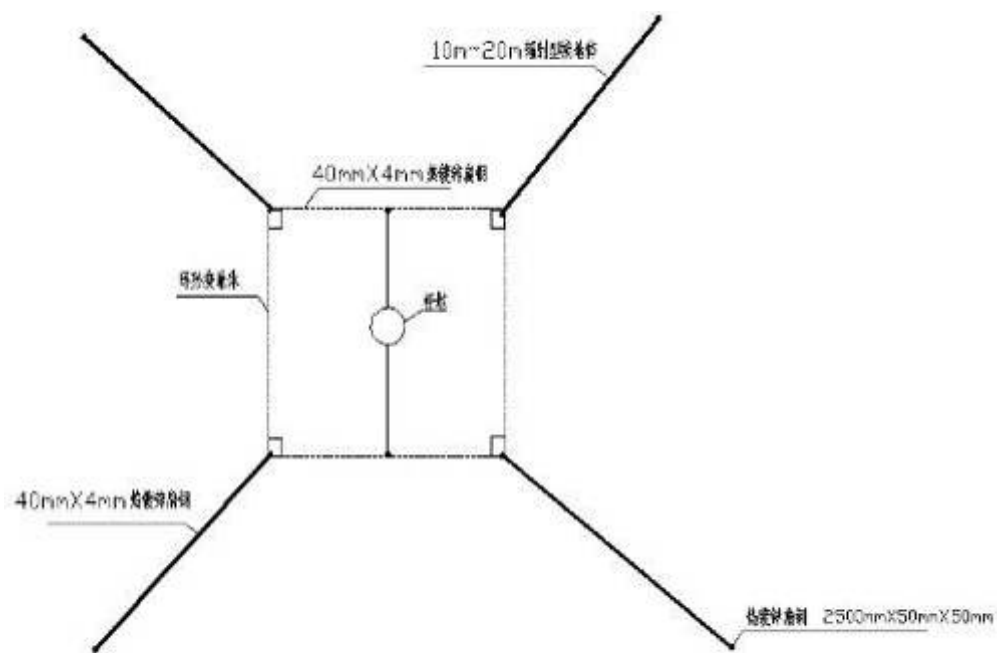


图 D.5 小型基站地网示意图

## 附录 E

### (资料性附录)

#### 两种等电位连接的对比分析

##### E.1 典型的星形接地方式

国内无线基站现有的机房设备的接地方式一般采用如图 E.1(a)所示，E.1(b)为其等效图，这是一种典型的星形接地方式。虽然这种接地方式在许多基站已广泛使用，但由于设备的接地线过长(5m~10m)，当泄放雷电时，会在其接地引线上产生很大的电位差，导致设备损坏。另外由于设备的接地线过长，当由多个设备的地线与传输线构成的环面积过大时，雷击时的空间电磁场产生的电磁感应将成为设备雷击损坏的另一重要因素。

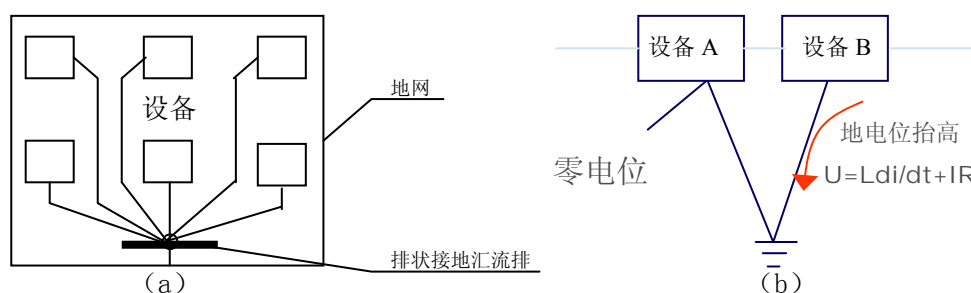


图 E.1 机房设备星形接地方式

##### E.2 典型的网状接地方式

对于无线基站机房，YD5098-2005《通信局（站）防雷接地工程设计规范》推荐网状连接，消除了机房因采用大星形连接易在设备间产生较大的电位差而损坏设备的隐患。对于星形接地如图 E.2 (a)，其等效图如图 E.2 (b)所示，即将大星形连接改成网状连接。

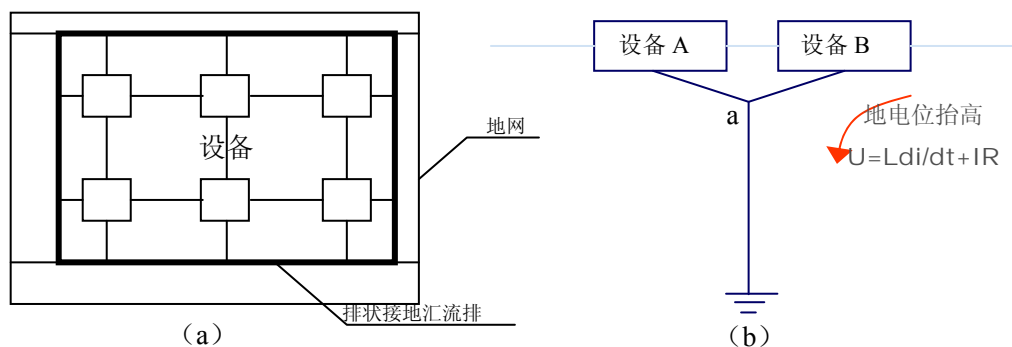


图 E.2 机房设备网状连接方式

此时的电位差可由  $U=Ldi/dt+IR$  推算，如引线长 1m，入侵的雷电流为  $8/20\mu s$ 、20kA，每米导线上的电压降达 3.6kV，如果等电位连接点提高到 a 点(a 至设备 B 之间为 0.5m，a 至 PE 之间为 4.5m)，则设备 A 和设备 B 间的电位差降为 1.8kV，仅为原电位差的十分之一。

## 附录 F

### (资料性附录)

#### 低压配电系统的防护

为防止无线基站配电系统因遭受雷击而损坏设备，应在机房电力线缆的入户处安装 SPD。SPD 不但防止地电位升二次反击造成的配电系统损坏，还可为雷电磁场感应 在配电路的浪涌电流提供泄流渠道。

##### F.1 基站环境要求与 SPD 的选择

为避免无线基站用电源 SPD 起火，造成设备和机房燃烧事故。要求 SPD 应具备可靠的过流过热保护功能，并要求恰当选择 SPD 保护模式。

SPD 按照保护模式分类有许多类型，四线对地的模式 ( $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 、N 各相对地或  $L_1$ -PE、 $L_2$ -PE、 $L_3$ -PE、N-PE)、七模式、全模式等；按照物理分类有间隙型、限压型、混合型。

本节主要论述有关 SPD 电路拓扑的正确选择问题，在中国采用三相“3+1”电路和单相对称电路，从而可以有效的避免应用在这两种电路中的限压型 SPD 的失效起火问题。

##### F.2 基站用电源 SPD 起火的主要原因

由于无线基站大部分采用 T T 供电方式（配电变压器的接地、基站的接地在电气上相互独立），当各相间都采用相同的限压型单模块 SPD 时。其短路失效后的回路电流不足以使前端空气开关或熔断器动作，造成 SPD 的漏电流迅速增加，致使 SPD 击穿损坏，甚至起火。

图 F.1 是典型的 T T 接地方式的基站供电各相对地加装四线对地的模式 SPD 示意图。

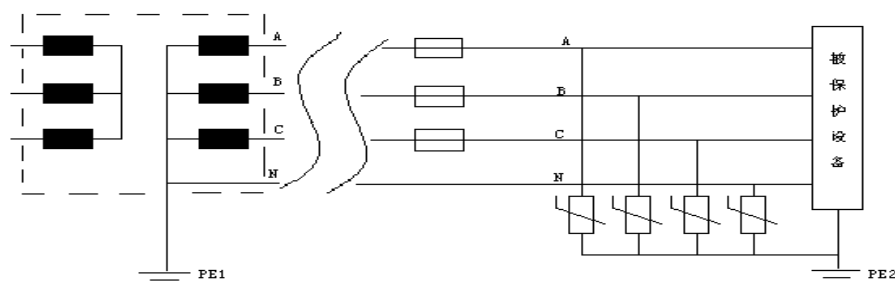
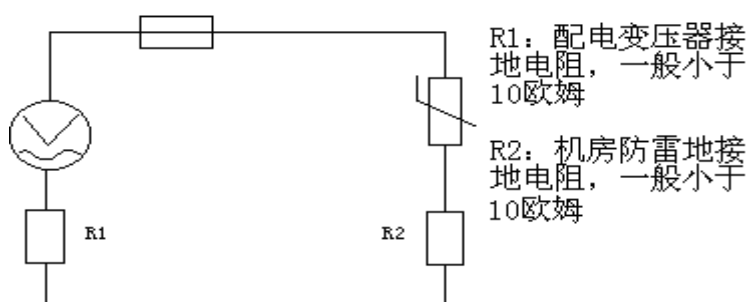


图 F.1 T T 接地方式的四线对地模式的 SPD 安装图

对于供电回路 A、B、C 每相对地的防雷器的等效电路如图 F.2 所示：



R1：配电变压器接  
地电阻，一般小于  
10欧姆  
R2：机房防雷地接  
地电阻，一般小于  
10欧姆

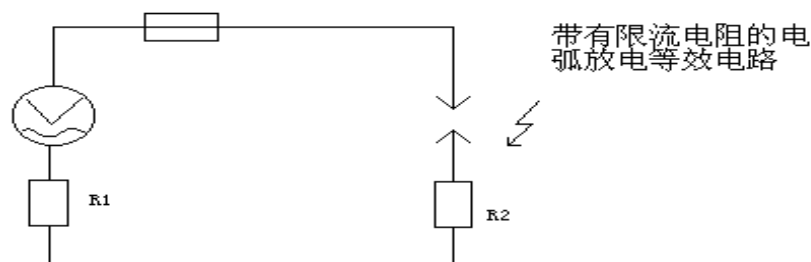


图 F.2 等效电路

当防雷器由于各种原因失效后，由于回路阻抗大，短路保护装置无法动作，导致带有限流电阻的电弧放电现象出现，致使 SPD 起火，甚至会导致机箱、机柜、机房火灾。

### F.3 “3+1”三相电源防雷电路

对 TT 系统，采用“3+1”电路，即用 3 个单模块限压型 SPD 分别接在 A-N、B-N、C-N 间，用一个放电间隙模块接在 N-PE 间，如图 F.3 所示。

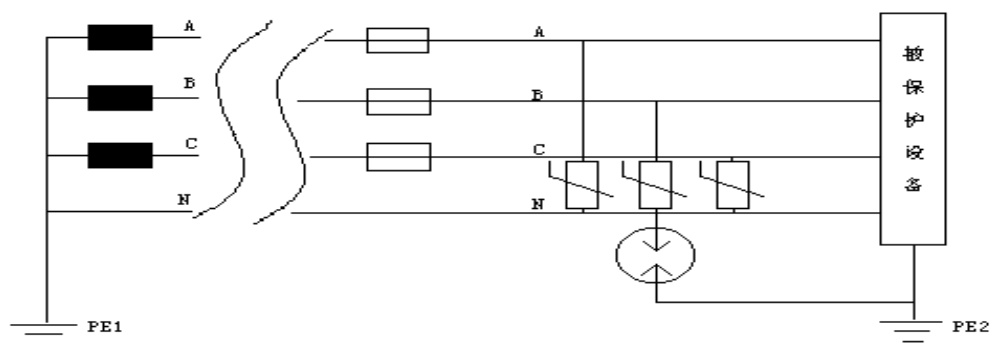


图 F.3 TT 接地方式的“3+1”模式的 SPD 安装图

采用这种电路后，单模块限压型 SPD 皆置于 L-N 间，一旦出现短路失效，由于回路电阻小（低压供电系统 L/N 间短路电流一般为数千安培），过流保护装置就会及时动作，从而避免火灾。

在这种电路中，虽然也有一个气体放电元件，但由于是加在 N-PE 间，所以不存在动作分散性问题、响应速度问题，而且还可以实现全模式（L-N-PE）保护，适应各种接地方式，是一种目前世界上流行的防雷解决方案。

### F.4 对于分布式基站直流拉远防护

1) 对于分布式基站，符合 H 型的地区，且在有铁塔、年雷暴日属于中雷区的地域，直流馈电线两端应增加提供相应的防雷保护措施。

2) 基站设在公共建筑或民房时、年雷暴日属于中雷区以上的地域，直流馈电线两端应增加提供相应的防雷保护措施。

3) 基站设在公共建筑或民房时、符合 M 型、L 型的地区，年雷暴日属于中雷区的地域，直流馈电线两端应增加提供相应的防雷保护措施。