

# 基站共享电力铁塔防雷与接地安全

Research on Lightning Protection and Grounding Safety  
Assessment of Power Tower Shared by Base Stations

## 评估研究

杭一帆, 陈强, 牛年增 (中讯邮电咨询设计院有限公司郑州分公司, 河南 郑州 450007)

Hang Yifan, Chen Qiang, Niu Nianzeng (China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd. Zhengzhou Branch, Zhengzhou 450007, China)

### 摘要:

在电力杆塔上搭建 5G 基站是实现资源整合的有效途径,然而电力系统和通信系统在电压等级、系统负荷等方面相差甚远,必须兼顾二者要求进行综合性研究。基于 220 kV 电力铁塔和通信机房结构,建立了共享铁塔仿真模型,并通过分析计算不同雷电流、不同大地电阻率和不同间距下观测点的地电位升,得出重要结论:为保证雷击铁塔时机房内多种线缆不被击穿,通信机房和电力铁塔地网必须采用联合接地方式,并针对原有接地方式提出了改进意见。

### 关键词:

共享电力塔;防雷接地;安全评估

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2024.02.016

文章编号:1007-3043(2024)02-0083-05

中图分类号:E968

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



### Abstract:

Building 5G base stations on power towers is an effective way to achieve resource integration. However, there is a significant difference between power and communication systems in terms of voltage level and system load, and comprehensive research must be conducted to meet the requirements of both. Based on the structure of 220 kV power tower and communication room, it establishes a shared tower simulation model. By analyzing and calculating the ground potential rise of observation points under different lightning currents, ground resistivities and spacing, important conclusions are drawn: to ensure that multiple cables in the room are not broken down when lightning strikes the tower, the communication room and power tower grounding network must adopt a joint grounding method, and improvement suggestions are proposed for the original grounding method.

### Keywords:

Shared power tower; Lightning protection grounding; Safety assessment

引用格式:杭一帆,陈强,牛年增. 基站共享电力铁塔防雷与接地安全评估研究[J]. 邮电设计技术,2024(2):83-87.

## 1 概述

可靠的防雷与接地措施是保证电力系统和通信系统安全运行的重要因素,电力行业与通信行业在各自领域都有成熟的标准及规定,主要标准包括交流电气装置的接地设计规范(GBT 50065-2011)和通信局站防雷与接地工程设计规范(GB 50689-2011)等。但由于电力设施和信息通信设备的耐压水平存在较大差异,2个行业对于防雷保护的侧重点存在一定的差别<sup>[1]</sup>。总体而言,电力行业侧重于线路的绝缘耐压,

关键在于电力系统线路和杆塔等设备的过电压防护和绝缘配合,通信行业侧重于设备的精细保护,重点强调内部等电位连接结构以及“分级保护、逐级限压”的防雷器分级配置<sup>[2]</sup>。

共享铁塔是指在电力铁塔上悬挂射频拉远单元(RRU)及天线等通信设备,其中电力杆塔多为 35 kV、110 kV 和 220 kV,绝缘水平可达到几百千伏,而基站通信设备的耐受电压一般不超过 2 kV<sup>[3-4]</sup>。当发生短路事故或雷击事故时,巨大的短路电流或雷电流会沿着铁塔流入大地,与接地结构和远端大地构成回路。由于铁塔钢支撑结构上电容电感以及接地电阻的存在,铁塔不同位置处会出现电位差<sup>[5]</sup>。当该电位差接

收稿日期:2024-01-05

近或达到基站通信设备的耐受电压时,会发生击穿,引发通信设备故障。此外,RRU设备供电使用-48 V直流电沿铁塔布线,局部漏电情况下会造成中性点接地线电位升高,导致保护接零的设备外壳带电,威胁运检人员的人身安全。

鉴于共享铁塔技术的初步探索现状,考虑到铁塔和通信设备权利归属以及电力部门与通信部门的责任划分等,共享铁塔的防雷与接地要求还未形成相应规范。因此,研究共享铁塔上通信设备与电力设备的相关影响机理,提出过电压防护措施是当务之急。本文以220 kV电力铁塔和通信机房为研究对象,综合二者标准规范中防雷接地要求,在CDEGS接地分析软件中搭建共享铁塔仿真模型,运用频域矩量法分析不同状态下铁塔多个监测点位的电位升,明确电力铁塔与通信机房的接地方式,并进一步提出优化方案,为后续共享铁塔的工程应用提供指导意见。

## 2 共享铁塔现状

将天线、光缆等通信设施依附在电力杆塔上,可以减小运营商的投资,实现基础设施资源的综合利用。共享铁塔布置如图1所示,RRU安装在电力铁塔约20 m高处,通信机房位于电力铁塔下方,光缆以及直流电源线则通过外部引入机房内<sup>[6-7]</sup>,共享铁塔连接示意如图2所示。当雷击铁塔顶端时,雷电流沿铁塔进入接地网泄流,会影响铁塔和通信机房接地网的暂态地电位升分布情况,从而影响机房内通信设备的正常运行。此外,电源线、光缆及天线金属支架与铁塔塔身之间会产生强大的电位差,当电位差大于击穿电压时会引起线路失火,对通信机房的安全运行造成极

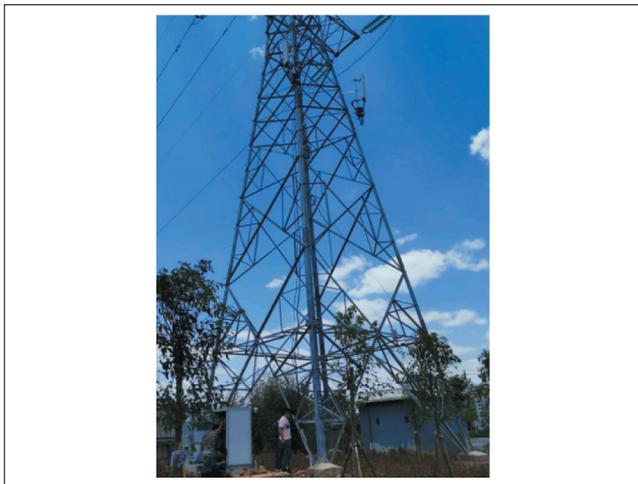


图1 共享铁塔布置

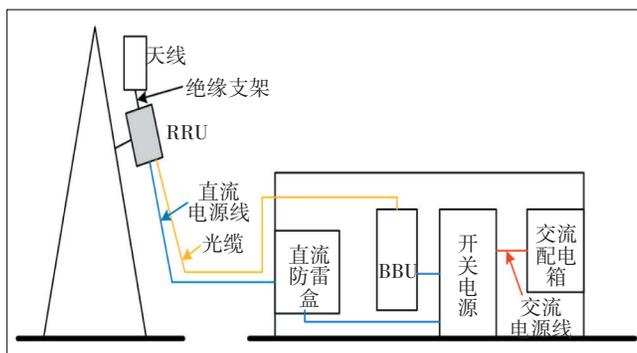


图2 共享铁塔连接示意

大的威胁。

目前电力铁塔和通信机房之间的接地方式为分散接地和联合接地,其中分散接地是将电力铁塔的接地和通信设施的接地完全分开,包括天线、馈电电缆、光缆、地网等。联合接地即上述设施通过可靠的连接方式联为一体,通信机房地网与电力塔地网相互连通,天线与塔身直接连接,馈电线用馈线卡子与塔身固定,在RRU侧通过防雷器与塔身连接。接地方式的不同很大程度上影响了雷击铁塔时外部引入电缆、光缆等设施的防雷性能,因此二者的接地方式对整个共享铁塔是极其关键的。

## 3 共享铁塔仿真建模

### 3.1 模型搭建

基于电力铁塔和移动通信机房的相关参数,采用国际上通用的接地仿真软件CDEGS,对工程中所采用的220 kV杆塔(型号:2F4SDJ)、杆塔接地体、通信机柜及通信机柜地网等进行建模,杆塔模型如图3所示。在地网不相连的情况下,分别搭建了机房放置在电力塔外和塔内2种模型,其中水平接地体的等效半径为0.007 14 m,埋深为0.8 m,接地材料采用镀锌扁钢。铁塔接地网为水平铺设,放射接地极4根,垂直接地极4根;基站接地网为3 m×4 m的矩形,垂直接地极4根。

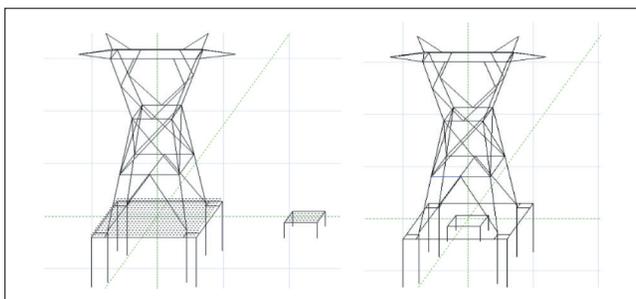


图3 共享铁塔仿真模型

### 3.2 雷电流模型

雷电流幅值、半峰值时间、波形陡度以及波形持续时间等变化范围很大,但其波形都是非周期性冲击波。进行雷击计算时,根据具体的应用场合,可以采用不同参数的雷电流。常见的雷电流波形有斜角波、半余弦波、半余弦波斜角平顶波、双指数波等。本次雷电流波采取的是IEC61312标准《雷电电磁脉冲的防护》中的双指数波形,具体为:

$$i(t) = I_m(e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}) \quad (1)$$

其中, $I_m$ 是雷电流峰值, $\alpha$ 为波前衰减系数, $\beta$ 为波后衰减系数。本次建模中 $\alpha$ 取值为14 000; $\beta$ 取值为6 000 000。针对电流波形幅值,在10~30 kA区间内挑选多个数值分别进行建模仿真,其中幅值为30 kA的雷电流波形如图4所示。在保证雷电流波头时间分辨率的前提下,对雷电流做傅里叶分解,选择460个频点计算共享铁塔内多个监测点的暂态地电位升。

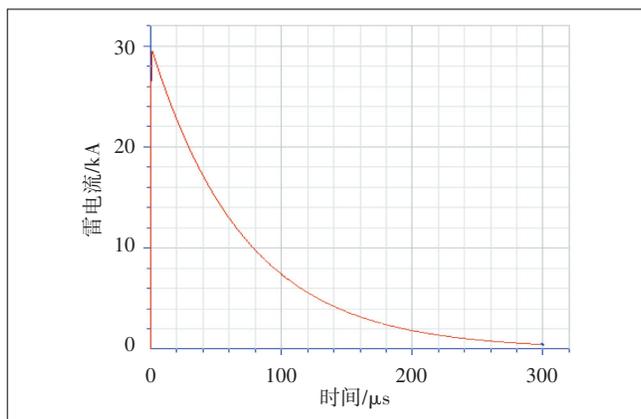


图4 雷电流仿真波形

### 3.3 监测点选取

根据电力铁塔和通信机房的位置,共设置4处监测点,具体如图5所示。当机房处于铁塔外时,在铁塔顶部加入雷电流激励后,分别在5G天线处、电力铁塔地网边缘处、通信机房地网中心处设置观测点A、B、C;当机房处于铁塔下方时,在电力铁塔地网中心处设置监测点D。

### 4 暂态地电位分析

建立220 kV共享铁塔仿真模型,铁塔上悬挂模拟通信设备,在土壤电阻率为100 Ω·m时,雷电流幅值为30 kA。雷击塔顶时,雷电流通过铁塔泄放到接地网,此时4处监测点的地电位升如图6所示,其中最大值为A处的6 126 kV,最小值为D处的20.8 kV。

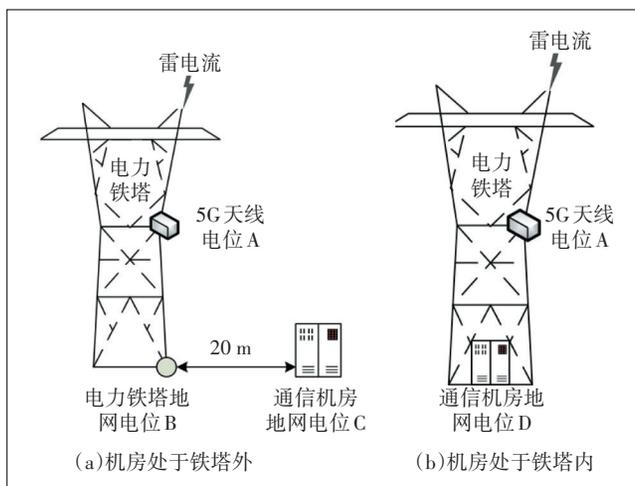


图5 共享铁塔监测点布置示意

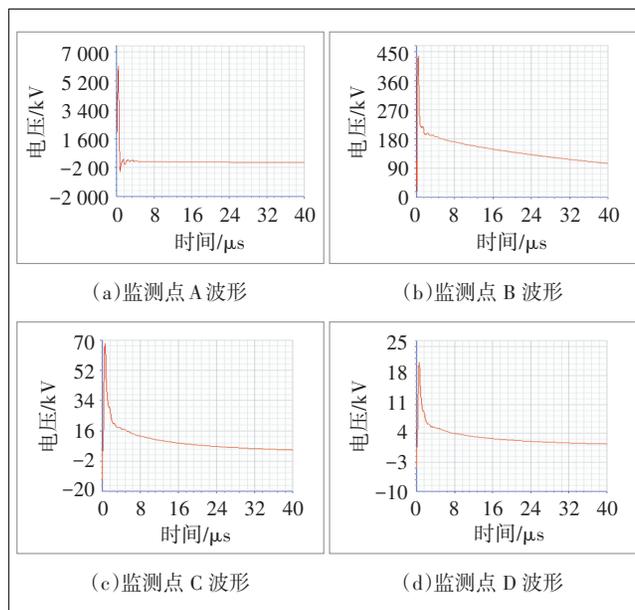


图6 雷击铁塔监测点仿真结果

对于共享铁塔来说,影响系统安全性最重要的因素之一就是暂态地电位升,而影响暂态地电位升的因素主要为雷电流幅值和大地土壤电阻率。本文雷电流幅值区间设置为10~30 kA,土壤电阻率参数设置区间为100~1 000 Ω·m,在不同因素下计算各监测点暂态地电位升峰值,具体如图7所示。

从图7可以看出,暂态地电位升跟土壤电阻率和雷电流幅值成正比关系,当土壤电阻率和雷电流幅值越大时,整个塔体电位差随之增大。而挂载天线(点A)位于塔身高度20 m处,其到铁塔地网边缘(点B)的电位差与塔体电位差成正比,铁塔地网泄流经土壤少量流到通信地网上。从图7中监测点C和D可以

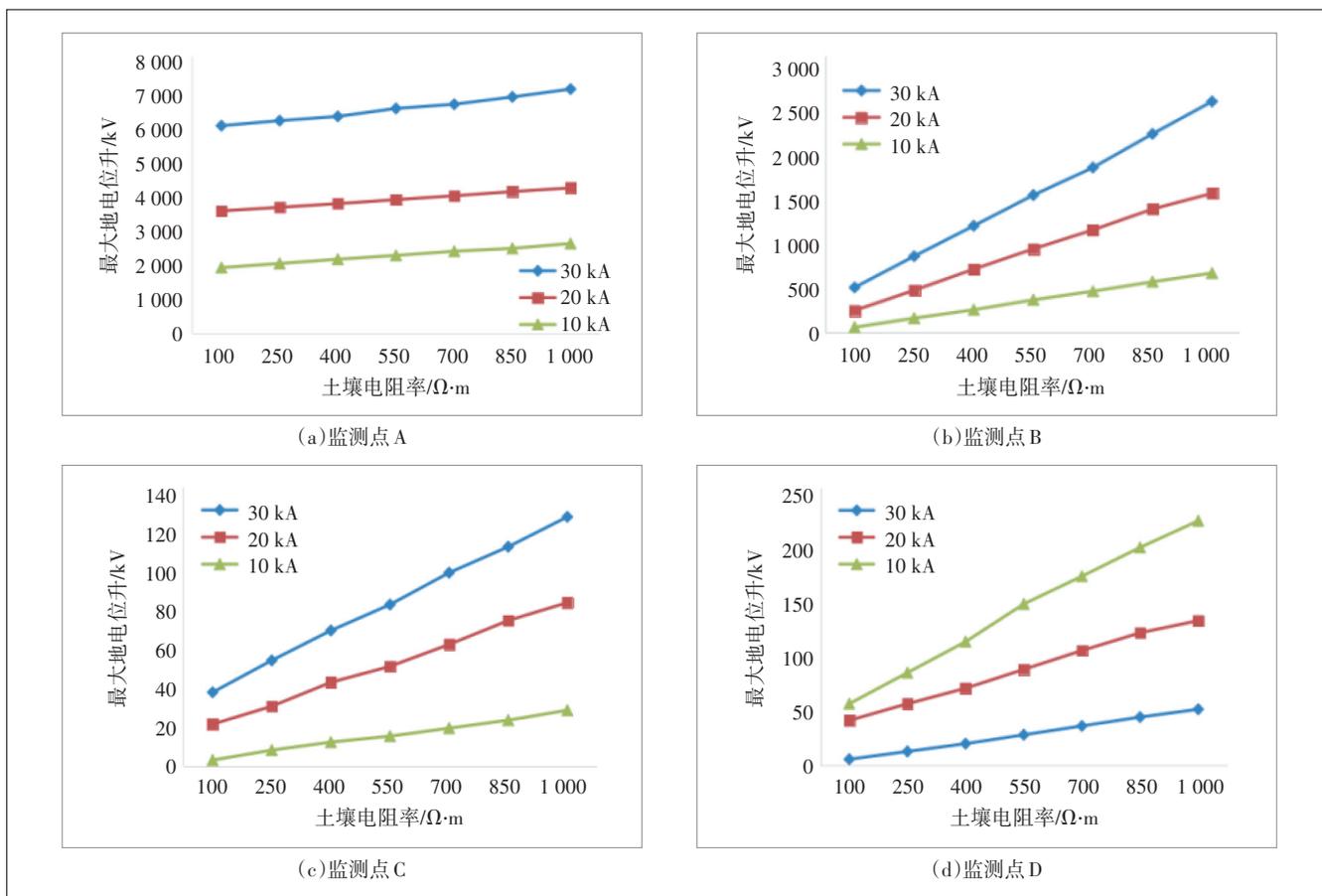


图7 暂态地电位升峰值

看出,相较于放置在塔内的情况,机房放置在铁塔外时地电位升峰值由 225 kV 降到 118 kV。

此外,对比监测点 A 可以得出,机房处地电位升远小于铁塔处电位。在最恶劣的情况下,即当土壤电阻率为 1 000 Ω·m,雷电流幅值为 30 kA 时,二者暂态地电位差可以达到 6 928 kV,而常规电源线、光缆绝缘水平一般为几十千伏以内,容易发生击穿,引起安全事故。因此需综合考虑不同接地情况下,机房放置不同位置时,外部电源线、光缆等设备的绝缘水平是否能够满足雷击时的要求。

## 5 接地分析及方案优化

### 5.1 接地方式分析

目前共享铁塔接地方式主要为联合接地和分散接地,根据第 3 章仿真结果可知,分散接地情况下多个监测点的地电位升。空气间隙击穿电压计算如式(2)所示。

$$U_b = 24.5\sigma d + 6.4\sqrt{\sigma d} \quad (2)$$

其中,  $U_b$  为击穿电压峰值,单位 kV;  $d$  为间距,单位 cm;  $\sigma$  为相对空气密度;  $\sigma d > 0.751 \times 10^{-3}$  cm。由于直流电源线及光缆需通过 PVC 套管与塔身绑扎固定,通过式(2)可以计算出当雷击共享铁塔时,直流电源线及光缆不被击穿情况下与塔身的安全间距,取部分数据进行展示,具体如表 1 所示。

从表 1 中数据可以得知,目前要想保证雷击时,铁塔上的电源线、光缆及天线金属支架不被击穿,在土壤电阻率为 1 000 Ω·m,雷电流幅值为 30 kA 的恶劣环境下,其安全间距最大须达 433.1 cm 以上,这在实际工况中很难实现。因此,在共享铁塔的建设中,通信机房和电力铁塔应尽量采用联合接地方式。

表 1 不同情况下安全间距

| 土壤电阻率/(Ω·m) | 安全间距/cm |       |       |
|-------------|---------|-------|-------|
|             | 30 kA   | 20 kA | 10 kA |
| 100         | 365.6   | 276.3 | 115.1 |
| 500         | 402.8   | 255.9 | 130.2 |
| 1 000       | 433.1   | 273.2 | 138.3 |

## 5.2 方案优化

天线、RRU 及其支架(或者平台)的金属部件通过引接地线与铁塔塔身可靠连接,连接点应做好防腐处理。馈电电缆、光缆应与铁塔塔身可靠绑扎固定。馈电电缆金属外护层应分别在 RRU(或天线)处以及机房入口处就近可靠接地。上塔光缆应优先选择非金属光缆;当采用含金属构件的光缆时,光缆金属构件应在 RRU(或天线)处以及机房入口处就近可靠接地。室外走线架始末两端均应可靠接地。

通信机房地网与高压电力塔地网如图 8 所示,通信设施周围设置环形水平导体形成均压地网,环形水平导体埋深约为 0.3 m,其与机房(机柜)距离约为 0.6 m,并在四角设置垂直接地体。该均压地网应与高压电力塔地网连为一体,且水平连接导体不少于 2 根。其中水平接地体采用 40×4 热镀锌扁钢,垂直接地体采用 50×50×5 mm 角钢。当机房(机柜)位于塔角之间时,宜采用与塔角对角线连接的方式;当机房(机柜)位于铁塔旁边时,应就近与塔角连接,接地电阻值应小于 10 Ω。

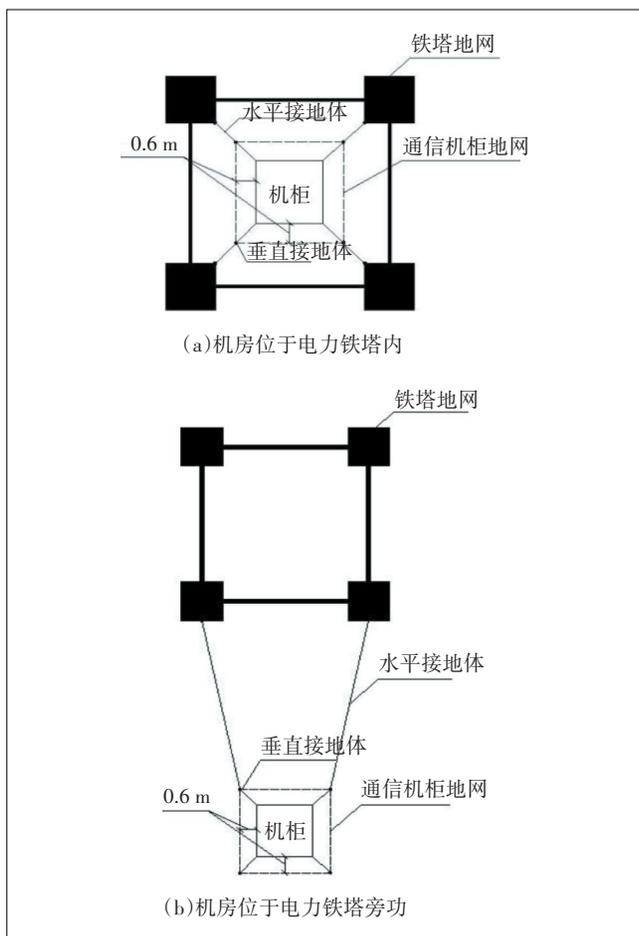


图 8 通信机房地网与高压电力塔地网连接示意

## 6 结论

本研究通过搭建 220 kV 电压等级 2F4SDJ 塔型的“铁塔 + 基站”共享铁塔模型,针对不同土壤电阻率、不同雷电流幅值、不同连接方式等因素,在 5G 天线处、电力铁塔地网边缘处、通信机房地网中心处等设置观测点,结合空气间隙击穿理论对地电位升进行了仿真分析,结论如下。

a) 暂态地电位升跟土壤电阻率和雷电流幅值成正比关系,当土壤电阻率和雷电流幅值变大时,整个塔体电位差随之增大,铁塔上挂设 5G 天线处的电位远远高于通信机房地网中心处电位,二者之间差值高达几千千伏,会对外部电源线、光缆等设备造成击穿。

b) 结合空气间隙击穿电压计算公式,在分散接地情况下雷击共享铁塔时,要保证外部引入的电源线、光缆及天线金属支架不被击穿,安全间距需满足 433.1 cm,在实际工况下很难实现,因此在共享铁塔建设中,通信机房和电力铁塔尽量采用联合接地方式。

c) 基于地网联合接地方式,从电力塔和基站防雷安全的角度而言,两者之间电位差越小,越能形成均压等电位的效果,更好保障机房内设备的安全。通过对仿真结果的分析得出,通信机房放置在电力塔内或者临近铁塔放置时电位差更小,均压效果更好。

### 参考文献:

- [1] 陈炜炜,周懋坤,詹跃东,等. 雷电流数学模型仿真及对比分析[J]. 电瓷避雷器,2019(6):7-12.
- [2] 宋广飞,常战庭,常兵. 铁塔共享模式下运营商基站资源整合研究[J]. 邮电设计技术,2017(12):51-54.
- [3] 刘蕊,齐道坤,莫娟,等. 共享铁塔防雷接地可靠性研究[J]. 电瓷避雷器,2021(6):125-132.
- [4] 陈强,唐余兵,刘吉克,等. “隔离+浮地”防雷新技术在小型通信设施的应用[J]. 邮电设计技术,2019(12):74-78.
- [5] 张建臣,刁首人,高志新,等. 变电站和移动基站共建时接地网的可靠性研究[J]. 电力科学与工程,2014,30(10):37-41.
- [6] 牛年增,陈强. 临近基站民房雷击事故分析[J]. 邮电设计技术,2014(6):84-86.
- [7] 张洲,曹枚根,龚坚刚,等. 共享铁塔电磁环境影响及防雷接地技术研究[J]. 浙江电力,2020,39(10):1-8.

### 作者简介:

杭一帆,毕业于武汉理工大学,工程师,硕士,主要从事通信局站防雷防护工作;陈强,毕业于西安交通大学,教授级高级工程师,学士,主要从事通信局站防雷防护工作;牛年增,毕业于西安电子科技大学,高级工程师,硕士,主要从事通信局站防雷防护工作。