

区域输电线路共享铁塔搭载天线信号覆盖及资源评估

刘欣博¹, 刘帆¹, 曹枚根¹, 龚坚刚², 楼佳悦²

(1. 北方工业大学, 北京 100144; 2. 浙江华云电力工程设计咨询有限公司, 杭州 310014)

摘要: 随着5G通信技术的发展,大量电力铁塔作为共享铁塔用于架设5G通信基站。为了给电力铁塔共享规划提供参考依据,提出计算区域输电线路共享铁塔搭载天线信号覆盖面积及定量评估通信资源的“点-线-面”方法。首先,研究单个共享电力铁塔架设5G通信基站所能提供的通信资源,根据铁塔呼称高和天线挂高计算单塔通信信号覆盖面积;然后,利用带宽廊道计算方法,得到整条输电线路共享铁塔通信信号覆盖面积;最后,去除多种重复的信号覆盖范围,推导得到区域内所有输电线路共享铁塔通信信号覆盖总面积计算公式。利用“点-线-面”方法计算通信信号覆盖面积,能够定量得到区域内所有输电线路共享铁塔提供的通信资源,有利于为电网公司输电铁塔的共建共享规划提供理论依据。

关键词: 输电线路;共享铁塔;通信资源评估;带宽廊道计算;信号覆盖面积

文章编号: 1007-1881(2020)11-0009-07

DOI: 10.19585/j.zjdl.202011002

中图分类号: TM75; TN929.5

文献标志码: B

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Evaluation of Signal Coverage of Mounted Antenna and Communication Resources of Shared Tower for Regional Transmission Lines

LIU Xinbo¹, LIU Fan¹, CAO Meigen¹, GONG Jiangang², LOU Jiayue²

(1. North China University of Technology, Beijing 100144, China;

2. Zhejiang Huayun Electric Power Engineering Design Consulting Co., Ltd., Hangzhou 310014, China)

Abstract: With the development of 5G communication, a large number of electric pylons are used as shared pylons to set up 5G communication base stations. In order to provide a reference for power tower sharing planning, a "point-line-area" method is proposed to calculate the area covered by the antenna signals of regional transmission line shared tower and to quantitatively evaluate the communication resources. Firstly, the communication resources provided by a single 5G communication base station on a shared electric power tower are studied, and the communication signal coverage area of a single tower is calculated according to the nominal height of the tower and the hanging height of the antenna; secondly, the signal coverage area of the shared tower of the entire transmission line is concluded through bandwidth corridor calculation method; finally, a calculation formula for total signal coverage area calculation formula of signal coverage of shared towers of transmission lines in the region is derived by eliminating duplicated signal coverage areas. Calculation of the communication signal coverage area using the "point-line-area" method can quantitatively obtain the communication resources provided by shared tower of all transmission lines in the region and provide theoretical basis for construction and sharing planning of transmission tower of power grid enterprises.

Keywords: transmission line; shared tower; communications resource assessment; bandwidth corridor calculation; signal coverage area

0 引言

5G(第5代移动通信系统)是面向2020年以

后的移动通信需求而发展起来的新一代移动通信系统^[1],当前我国正处于“后4G”与5G开端的时代,相比4G人与人的连接,5G应用场景拓展到人与物、物与物的连接,拥有巨大的发展前景。随着社会朝着智能化方向发展,互联网+、物联网技术突飞猛进,而这一切需要庞大的、全覆盖

基金项目: 国网浙江省电力有限公司集体企业科技项目(ZJJTQY2019-71); 北京市教委科技项目(KM201910009010)

的无线通信网络支撑。相比4G信号,5G信号在速度、时延等多个方面有着全面提升,但5G信号包含频率较高的3.5 GHz频段和毫米波频段^[2-3],这就致使单个5G基站的信号覆盖范围相对较小。

随着5G信号的全面覆盖,通信塔的数量需求十分巨大,若重新设立专门用以架设5G基站的通信塔,不仅成本高,而且时间周期长。架空输电线路铁塔具有空间分布广、数量多、搭载方便等特点,电力铁塔与通信铁塔共建共享,不仅能够加快5G通信组网,还可以实现电网铁塔资源的再利用,真正实现资源共享,互利共赢。2018年4月,随着国家电网有限公司、中国南方电网有限责任公司分别与中国铁塔股份有限公司签署战略合作协议,正式开启了“共享铁塔”的全新合作模式,电力行业也正式加入了共享经济的发展队列中,双方将在通信业务服务、智能电网建设以及泛在电力物联网建设等方面开展更广泛的合作,不断为行业和社会创造价值^[4]。

在新的形势下,为了使电网在市场环境下有效发展,对于电网的规划部门和投资者来说,如何定义电网规划的目标、建立新的规划原则以及发展新的规划模型和工具成为主要任务^[5]。当电网公司在某区域进行电力铁塔共享规划时,需要对该区域输电线路电力铁塔的通信资源进行总体评估,为计算共享铁塔的改造、运维、检修成本以及预估运营收益提供理论依据。通信领域的常用方法是根据通信信号覆盖面积、信号强度确定通信铁塔架设位置^[6-7]。而高压输电线路电压等级不同,铁塔呼称高存在较大差异,不同呼称高的铁塔架设通信天线的高度也不同,因此铁塔的通信信号覆盖面积不同;另外,输电线路的走向错综复杂,时有并行交错、共塔情况,这也致使不同线路铁塔架设天线的通信信号覆盖面积存在重叠现象。若直接采用叠加法计算信号覆盖面积,得到的结果误差很大,无法参考。为提高设备的利用率,挖掘现有电网的潜力^[8],需要一种专门适用于输电线路共享铁塔架设5G基站的通信信号覆盖面积计算方法,以定量评估电力共享铁塔的通信资源。

本文提出了一种“点-线-面”共享电力铁塔通信资源定量评估方法,该方法首先计算单个共享电力铁塔架设5G基站的通信信号覆盖面积,

接着计算整条线路共享电力铁塔呼称高的加权算术平均值来确定天线的挂高,应用带宽廊道算法得到整条输电线路共享铁塔通信信号覆盖面积,最后基于单条线路计算结果,推导得到区域所有输电线路共享电力铁塔搭载5G天线后的通信信号覆盖总面积的计算公式,从而实现区域大规模共享铁塔通信资源的定量评估^[9-10],为电网公司进行区域输电线路电力铁塔共享总体规划提供理论依据。

1 输电铁塔搭载天线通信信号覆盖面积影响因素分析

输电线路共享铁塔天线搭载高度决定了通信信号的覆盖面积,天线高度越高,信号覆盖面积越大。而不同共享电力铁塔的呼称高差异较大,线路电压等级不同,在满足电气安全距离的前提下,天线挂高自然也不同。可根据共享铁塔的呼称高、线路电压等级、塔形等因素确定天线挂高,从而得到单个铁塔搭载天线的通信信号覆盖面积。

对于一条输电线路来说,每个共享铁塔的信号覆盖面积可由以铁塔为圆心的圆面积来表示,考虑到铁塔之间的档距以及每座铁塔的信号覆盖面积不同,当相邻铁塔档距较小、距离较近时,两座铁塔搭载天线的通信信号覆盖面积会产生重叠的情况,计算整条输电线路共享铁塔通信信号覆盖面积时,需要去除重叠的信号覆盖面积。

当区域内存在多条输电线路时,各条输电线路的走向错综复杂,时有交叉并行以及同塔的情况,这将导致输电线路铁塔之间存在大量的信号覆盖面积重叠现象,若想得到精确的通信信号覆盖总面积,最直接的方法是考虑每座铁塔、每条线路的数据进行精确计算。以东南某省为例,截至2020年3月,该省500 kV线路总长度8 844 km,输电铁塔21 496座,铁塔平均呼称高为37.4 m;220 kV线路总长度18 865 km,输电铁塔56 613座,铁塔平均呼称高为27.8 m;110 kV输电线路总长度23 007 km,输电铁塔100 701座,铁塔平均呼称高为22.4 m。若单独计算每个共享铁塔、每条线路的通信信号覆盖面积,叠加得到该省共享铁塔通信信号覆盖总面积,其计算过程非常复杂,不适用于工程实际。

2 输电线路杆塔搭载天线通信信号覆盖计算方法

本文提出的“点-线-面”方法中的点、线、面分别对应单个铁塔、线路共享铁塔、区域所有线路共享铁塔。应用“点-线-面”方法,首先是“点”的计算,即对单个共享电力铁塔架设5G基站后的信号覆盖面积进行计算;接着计算整条线路共享电力铁塔呼称高的加权算术平均值来确定天线挂高,基于单塔信号面积,减去重复计算的面积,得到整条高压输电线路中的共享铁塔架设基站后的信号覆盖面积,完成“线”的计算;最后基于多条线路共享铁塔的通信信号覆盖面积之和,考虑各种面积重叠情况,得到区域内所有高压线路共享电力铁塔通信信号覆盖总面积,完成“面”的计算,从而实现区域共享铁塔通信资源的定量评估。

2.1 输电塔通信信号覆盖面积

对单个电力铁塔共享架设5G通信基站的信号覆盖面积进行计算,即“点-线-面”方法中“点”的计算。单塔搭载通信天线的信号覆盖范围计算首先需要确定基站天线的发射功率、增益和接收灵敏度等基础参数;然后确定天线所需要覆盖的地区,从而判断穿透损耗、干扰余量等;进而通过链路预算计算出最大路径允许损耗 P_{LMAX} ,通过信号的传播模型分析确定天线覆盖半径(挂高已知);最后由天线覆盖半径得到单塔信号覆盖面积^[11-12]。

链路预算是无网络规划中的一项重要工作,也是评估无线通信系统覆盖能力的关键。通过对系统中下行(或前向)和上行(或反向)信号传播途径中各种影响因素进行考察,在满足业务质量需求的前提下,选择适当传播模型对系统的覆盖能力进行估计,以获得保持一定通信质量下链路所允许的最大传播损耗^[13-14]。链路预算的目的是确定信号传输的最大允许路径损耗,即:

$$P_{LMAX} = P_{Tx} - L_f + G_{Tx} - M_f - M_1 + G_{Rx} - L_p - L_b - S_{Rx} + 20 \lg \frac{h_{BS}}{20} - \Delta L_2, \quad (1)$$

式中: P_{LMAX} 为最大允许路径损耗; P_{Tx} 为基站发射功率,上行时为基站接收功率; L_f 为馈线损耗; G_{Tx} 为基站天线增益; M_f 为阴影衰落和快衰落余

量; M_1 为干扰余量,上行取2 dB,下行取7 dB; G_{Rx} 为手机天线增益; L_p 为建筑物穿透损耗; L_b 为人体损耗,一般取3 dB; S_{Rx} 下行时为手机接收灵敏度,上行时为手机发射功率; h_{BS} 为基站天线有效高度; ΔL_2 为叶片损耗。

式(1)各个参数在不同场景下的取值不同,得到的最大允许路径损耗值也不同。例如,在乡村中建筑物穿透损耗值较低,则允许的最大路径损耗值就可以更大。

得到最大允许路径损耗后,进行传播模型分析。鉴于共享铁塔的位置分布,选择3GPP规定的5G NR农村宏蜂窝(Rma-NLOS)传播模型^[15],如式(2)、式(3)所示,其中通信信号频率设为3.5 GHz。

$$P_{LMAX} = 161.04 - 7.1 \lg W + 7.5 \lg h - [24.37 - 3.7 \left(\frac{h}{h_{BS}} \right)^2] \lg h_{BS} + (43.42 - 3.1 \lg h_{BS}) (\lg d_{3D} - 3) + 20 \lg f_c - \{3.2 [\lg(11.75 h_{UT})]^2 - 4.97\}, \quad (2)$$

$$d_{3D} = \sqrt{d_{2D}^2 + (h_{BS} - h_{UT})^2}, \quad (3)$$

式中: W 为街道宽度; h 为平均建筑物高度; f_c 为工作频率; h_{UT} 为移动台天线有效高度,此处设为2.5 m; d_{2D} 为基站天线与移动台天线直线距离; d_{3D} 为基站天线顶端与移动台天线顶端的距离。

式(3)各个参数之间的关系如图1所示。

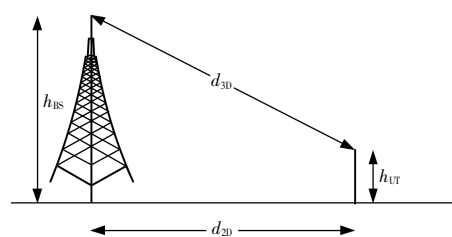


图1 信号传播路径

将链路预算中计算得到的最大允许路径损耗代入式(2),结合式(2)、式(3)计算 d_{2D} ,即可得到单个共享电力铁塔通信信号覆盖半径。为简化计算,各参数取值如表1所示。

2.2 输电线路走廊通信信号覆盖面积

基于单个共享电力铁塔通信信号覆盖面积,可完成单条输电线路共享铁塔架设5G基站后通信信号覆盖范围的计算,即“点-线-面”方法中

表1 链路预算参数取值

参数	取值	参数	取值
P_{Tx}/dBm	53.8	G_{Rx}/dB	0
L_i/dB	1	L_p/dB	15
G_{Tx}/dBi	17	L_b/dB	3
M_i/dB	8	S_{Rx}/dB	-90
M_i/dB	7	$\Delta L_2/\text{dB}$	1.3
W/m	50	h/m	5

“线”的计算。本文提出带宽廊道计算方法,可对整条输电线路共享铁塔通信资源进行评估。

整条输电线路共享铁塔搭载通信天线后的信号覆盖范围沿输电线路呈走廊式分布,不同输电线路电压等级不同,铁塔的呼称高差异较大。较高的铁塔通信天线搭载位置高,通信信号覆盖范围较广。

在输电线路共享电力铁塔均搭载通信天线的情况下,常常出现单塔天线信号覆盖半径远大于电力铁塔档距的情况,此时整条线路通信信号覆盖面积可近似为一个矩形,如图2所示,根据单塔通信天线信号覆盖圆直径及线路长度确定矩形的边长。

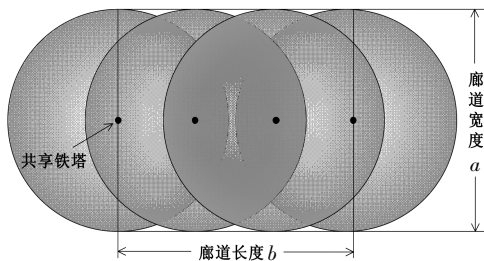


图2 带宽廊道计算方法

图2所示带宽廊道计算方法得到的信号覆盖面积 S 为:

$$S = a \cdot b + \frac{\pi a^2}{4}, \quad (4)$$

式中: a 为单塔信号覆盖圆直径,也可称为廊道宽度,即带宽; b 为线路长度。通过设定不同电压等级线路的共享电力铁塔平均天线挂高,得到通信信号覆盖廊道的宽度,应用式(4)计算整条输电线路的信号覆盖面积。

应用带宽廊道法计算整条线路通信信号覆盖面积时,天线搭载高度决定带宽大小,对计算结

果影响极大。若天线搭载高度由共享电力铁塔平均呼称高确定,计算量小,方法简单,却会导致计算结果存在较大误差;若考虑整条输电线路各个共享铁塔的呼称高,显然计算结果会非常精确,但是大大增加了工作量,计算复杂,不便于实际应用。

本文通过计算线路共享电力铁塔呼称高的加权算术平均值来确定天线的挂高,既 not 复杂,又提高了计算精度。加权平均值即把各个数值乘以相应权数,然后相加求和,再除以总单位数。铁塔呼称高的加权算术平均值 \bar{h} 为:

$$\bar{h} = \frac{h_1 f_1 + h_2 f_2 + h_3 f_3 + \dots + h_z f_z}{f_1 + f_2 + f_3 + \dots + f_z}, \quad (5)$$

式中: $h_i, f_i (i=1, 2, \dots, z)$ 分别为铁塔呼称高及其对应的铁塔数量。应用铁塔呼称高的加权平均数计算整条线路共享电力铁塔的天线挂高,与真实情况更为契合。

另一方面,应用带宽廊道法计算时,两相邻通信信号覆盖圆相交,覆盖圆边缘存在信号未能覆盖的白色部分,其面积 S_1 可表示为:

$$S_1 = 2rd - 2 \left(\frac{1}{4} \pi r^2 - \frac{\theta}{360} \pi r^2 \right) - dr \sin \theta, \quad (6)$$

$$\theta = \arccos \frac{d}{r}, \quad (7)$$

式中: r 为输电线路铁塔通信信号覆盖半径,可将式(5)中所求得铁塔呼称高加权算术平均值 \bar{h} 代入式(1)~式(3)所示的覆盖圆半径公式,从而得到输电线路共享电力铁塔通信信号覆盖半径; d 为输电线路的铁塔平均档距。

基于式(5)~式(7),可将式(4)进行优化,得到改进的带宽廊道法计算整条输电线路电力铁塔通信信号覆盖面积为:

$$S_1 = S - 2(\delta - 1)rd - 2(\delta - 1) \left(\frac{1}{4} \pi r^2 - \frac{\theta}{360} \pi r^2 \right) - (\delta - 1)dr \sin \theta, \quad (8)$$

式中: δ 为此条输电线路中的铁塔数量。

2.3 区域输电线路通信信号覆盖面积

对区域内所有线路共享电力铁塔通信资源进行评估,对应的是“点-线-面”方法中“面”的计算,得到区域内所有线路共享电力铁塔架设基站的通信信号覆盖总面积。

针对多条线路,可分别应用带宽廊道法得到

线路电力共享铁塔通信信号覆盖面积,但从“线”扩展至“面”时,需要考虑多种面积重叠因素。

两条输电线路交叉时的信号重复覆盖面积 S_2 可表示为:

$$S_2=(2r')(2r'') \quad (9)$$

式中: r' , r'' 分别为两条交叉输电线路各自铁塔信号覆盖半径。

两条以上输电线路距离较近的信号重复覆盖面积 S_3 可表示为:

$$S_3=(r_x+r_y-d')l' \quad (10)$$

式中: r_x , r_y 分别为两条并行输电线路铁塔信号覆盖半径; d' 为两条并行输电线路的平均距离,且满足 $d' < r_x+r_y$; l' 为输电线路并行段长度。

当输电线路跨江、跨河时,铁塔档距过大,相邻铁塔档距会大于两塔通信信号圆半径之和,此时相邻铁塔的信号覆盖圆无交叉,信号覆盖面积会有空白区域,该空白区域面积 S_4 可表示为:

$$S_4=2rd''-(\lambda-1)\pi r^2 \quad (11)$$

式中: λ 为档距超过信号覆盖圆直径铁塔的个数; d'' 为铁塔档距,且满足 $d'' > 2r$ 。

此外,输电线路中存在电缆线路,电缆线路无法架设 5G 基站,需去除电缆线路数据再行计算。

基于带宽廊道法,并考虑多种信号重叠情况,区域内所有输电线路共享电力铁塔架设 5G 基站的信号覆盖总面积 S^* 为:

$$S^* = \sum_{i=1}^n 2(1-K_i)l_i r_i + \pi r_i^2 - \sum_{i=1}^n 2(\delta_i - 1) \left[r_i d_i - \left(\frac{1}{4} \pi r_i^2 - \frac{\theta_i}{360} \pi r_i^2 \right) - \frac{1}{2} d_i r_i \sin \theta_i \right] - \sum_{k=1}^m 4r_k' r_k'' - [2r_j d'' - (\lambda - 1) \pi r_j^2] - (r_x + r_y - d') l' \quad (12)$$

式中: n 为输电线路条数; l_i 为各输电线路长度; δ_i 为各输电线路中的铁塔数量; m 为输电线路交叉次数; K_i 为电缆线路与输电线路总长度之比; r_j 为输电线路存在铁塔的档距超过信号覆盖半径时,铁塔的信号覆盖半径。

综上所述,计算区域输电线路中共享铁塔架设 5G 基站后的信号覆盖面积时,可分为以下步骤:

(1) 根据各条输电线路共享铁塔呼称高数据,分别计算铁塔呼称高的算术加权平均值。

(2) 根据各条输电线路铁塔呼称高的算术加权平均值确定天线搭载高度,应用带宽廊道法即式(8)得到每条输电线路共享电力铁塔的通信信号覆盖面积。

(3) 根据区域内多条线路位置关系,应用式(12)可得到区域输电线路共享带电力铁塔架设 5G 基站的信号覆盖面积,完成区域铁塔通信资源评估。

3 典型区域电网共享铁塔通信信号覆盖资源评估

南方某典型地区有 35 kV 和 110 kV 两条输电线路。35 kV 输电线路全长 14 180.9 m, 包含 30 座铁塔, 其中呼称高为 15 m 的铁塔 5 座, 呼称高为 17 m 的铁塔 30 座, 呼称高为 24 m 的铁

塔 30 座; 110 kV 输电线路全长 19 814.1 m, 包含 65 座铁塔, 其中呼称高为 18 m 的铁塔 13 座, 呼称高为 24 m 的铁塔 10 座, 呼称高为 28 m 的铁塔 7 座。两条输电线路交叉一次, 线路并行长度约为 3 432 m。为了验证“点-线-面”方法的正确性, 将两条输电线路共享电力铁塔的各项数据导入软件 AutoCAD, 通过 AutoCAD 的面积计算模块可精确得到两条输电线路共享电力铁塔架设 5G 基站后的信号覆盖总面积, 并将其与应用“点-线-面”方法得到的通信信号覆盖面积进行比较, 从而验证所提方法的正确性。

应用“点-线-面”方法进行区域输电线路共享铁塔通信资源定量评估, 首先需分别应用带宽廊道法得到两条线路电力共享铁塔架设 5G 基站后的信号覆盖面积。根据两条线路电力铁塔呼称高, 可得到不同呼高铁塔搭载通信天线高度, 如表 2 所示。根据式(5)可分别得到两条输电线路天线挂高的加权平均值 h_{BS} 为:

$$h_{BS1} = \left(16 \frac{13}{30} + 22 \frac{10}{30} + 26 \frac{7}{30} \right) m \approx 20.33 \text{ m} \quad (13)$$

$$h_{BS2} = \left(13 \frac{5}{65} + 15 \frac{30}{65} + 22 \frac{30}{65} \right) m \approx 18.07 \text{ m} \quad (14)$$

将式(13)、式(14)计算所得天线挂高代入式(1)一式(3), 分别得到两条输电线路通信信号覆

盖半径(即 d_{20}), 如表 3 所示。

表 2 两条输电线路铁塔呼称高数据

线路电压等级/kV	铁塔呼称高/m	铁塔数量	天线挂高/m
110	18	13	16
	24	10	22
	28	7	26
35	15	5	13
	17	30	15
	24	30	22

表 3 两条输电线路共享电力铁塔通信信号覆盖半径

线路电压等级/kV	h_{95} /m	最大允许路径损耗/dB	d_{20} /m
110	20.33	125.612	703
35	18.07	124.681	622.1

表 4 给出了计算该区域共享电力铁塔通信信号覆盖总面积所需的各项参数, 其中输电线路的铁塔平均档距 d 是由线路长度 l 除以对应铁塔数量 δ 得到的。另外, 长度为 19 814.1 m 的输电线路中有两座铁塔的档距超过其信号覆盖半径, 应用式(11)进行计算。

另一方面, θ_i 满足:

$$S^* = \sum_{i=1}^n 2(1-K_i)l_i r_i + \pi r_i^2 - \sum_{i=1}^n 2(\delta_i - 1) \left[r_i d_i - \left(\frac{1}{4} \pi r_i^2 - \frac{\theta_i}{360} \pi r_i^2 \right) - \frac{1}{2} d_i r_i \sin \theta_i \right] - \sum_{k=1}^m 4r_k' r_k'' - [2r_2 d'' - (\lambda - 1) \pi r_2^2] - (r_x + r_y - d') l' = (2l_1 r_1 + \pi r_1^2 + 2l_2 r_2 + \pi r_2^2) - \{ 2 \times 37 \left[r_1 d_1 - \left(\frac{1}{4} \pi r_1^2 - \frac{\theta_1}{360} \pi r_1^2 \right) - \frac{1}{2} r_1 d_1 \sin \theta_1 \right] + 2 \times 53 \left[r_2 d_2 - \left(\frac{1}{4} \pi r_2^2 - \frac{\theta_2}{360} \pi r_2^2 \right) - \frac{1}{2} r_2 d_2 \sin \theta_2 \right] \} - 4r' r'' - [2r_2 d'' - (\lambda - 1) \pi r_2^2] - (r_x + r_y - d') l' = 39\,239\,086.98 \text{ m}^2, \quad (16)$$

应用“点-线-面”方法进行计算, 得到区域输电线路共享电力铁塔通信信号覆盖总面积为 39 239 086.98 m²。为了验证该方法的准确性, 将输电线路各个杆塔的地理坐标、呼称高等信息导入软件 AutoCAD 中, 根据各个电力铁塔的呼称高得到通信信号覆盖半径, 并以圆形覆盖面积图表示, 绘制两条输电线路 95 座共享电力铁塔通信信号覆盖圆, 如图 3 所示。

应用软件 AutoCAD 面积计算功能, 得到两条输电线路共享电力铁塔搭载天线后的通信信号覆盖总面积约为 41 138 854.89 m², 与式(16)应用

表 4 计算区域信号覆盖总面积所需参数

参数	数值
输电线路条数 n	2
各输电线路长度 l /m	$l_1=14\,180.9, l_2=19\,814.1$
各输电线路铁塔信号覆盖半径 r /m	$r_1=703, r_2=622.1$
各输电线路中的铁塔数量	$\delta_1=30, \delta_2=65$
各输电线路的铁塔平均档距 d /m	$d_1=472.6, d_2=304.8$
两条交叉输电线路各自铁塔信号覆盖半径 r', r'' /m	$r'=703, r''=622.1$
输电线路交叉次数 m	1
铁塔档距超过信号覆盖圆直径的个数 λ	2
铁塔档距(档距超过信号覆盖直径) d'' /m	1 500
两条并行输电线路各自铁塔信号覆盖半径 r_x, r_y /m	$r_x=703, r_y=622.1$
两条并行输电线路的平均距离 d' ($d' < r_x + r_y$)/m	415
输电线路并行段长度 l' /m	3 432
电缆线路与输电线路总长度之比 K	0

$$\theta_i = \arccos \frac{d_i}{r_i} \quad (15)$$

根据表 3、表 4 数据, 应用式(12)即可计算得到区域输电线路共享电力铁塔通信信号覆盖总面积为:

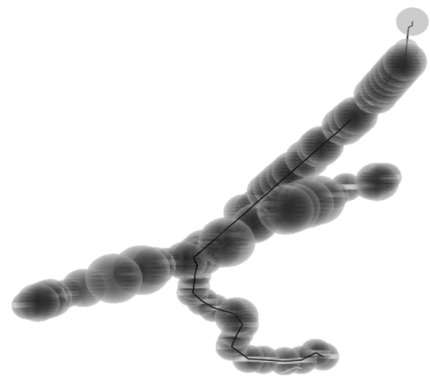


图 3 实际信号覆盖范围示意图

“点-线-面”方法计算的面积较为接近,由此可得本文所提算法的误差 $e_r(S)$ 约为:

$$e_r(S) = \frac{S - S^*}{S^*} = \frac{41\,138\,854.89 - 39\,239\,086.98}{39\,239\,086.98} \approx 4.62\% \quad (17)$$

式(17)的计算结果说明应用“点-线-面”方法进行区域输电线路共享电力铁塔通信信号定量评估是较为准确的。

4 结语

本文对单塔通信信号覆盖面积、整条输电线路共享电力铁塔通信资源和区域所有线路共享铁塔通信资源进行研究,主要研究内容包括:

(1)针对整条输电线路共享电力铁塔架设通信站的通信资源评估,考虑临近铁塔通信信号之间的叠加影响,提出了带宽廊道算法。

(2)对区域内所有输电线路共享电力铁塔通信资源定量评估,提出了“点-线-面”方法,基于单塔通信信号覆盖面积和整条输电线路共享电力铁塔通信信号覆盖面积,考虑多种信号重叠因素,给出了区域内所有输电线路共享铁塔架设基站后的通信信号覆盖总面积计算公式。该公式精度较高,计算简单,应用方便,能够完成区域内所有输电线路共享铁塔通信资源评估。

本文相关研究成果对电网公司进行区域输电线路电力铁塔共享规划具有较好的参考价值。

参考文献:

- [1] 尤肖虎,潘志文,高西奇,等.5G移动通信发展趋势与若干关键技术[J].中国科学:信息科学,2014,44(5):551-563.
- [2] 李芄芄,郑娜,仇沛川,等.全球5G频谱研究概述及启迪[J].电讯技术,2017,57(6):734-740.

- [3] 方箭,李景春,黄标,等.5G频谱研究现状及展望[J].电信科学,2015,31(12):111-118.
- [4] 国家电网有限公司.国家电网有限公司2018年社会责任报告[R].北京:中国电力出版社,2019.
- [5] 戴彦,文福拴,韩祯祥.电力市场改革对电网规划的影响[J].浙江电力,2002,21(3):1-5.
- [6] 杨万鹏.面向5G移动通信的基站选址方法及优化策略探讨[J].数字通信世界,2019(6):56.
- [7] 肖洋,王加钢,徐小军.移动通信基站规划建设的实践及思考[J].中国新通信,2019,21(14):81.
- [8] 张扬.电力系统技术发展的新趋势[J].浙江电力,2002,21(4):1-5.
- [9] 龚坚刚,曹枚根,刘欣博,等.高压输电线路共享资源分析及共享铁塔供电技术方案探讨[J].浙江电力,2020,39(4):1-9.
- [10] 楼佳悦,龚坚刚,曹枚根,等.输电线路共享铁塔5G天线搭载高度及布置方式研究[J].浙江电力,2020,39(4):10-16.
- [11] 许琼.无线链路物理模型构建及其预算方案[J].实验室研究与探索,2015,34(1):134-137.
- [12] Sami Tabbane.无线移动通信网络[M].北京:电子工业出版社,2001.
- [13] 卞文龙.浅析5G链路预算与站址规划[J].数字通信世界,2018(6):45.
- [14] 曾云光,黄陈横.基于Uma-NLOS传播模型的5G NR链路预算及覆盖组网方案[J].邮电设计技术,2019(3):27-31.
- [15] 胡文龙.LTE网络的无线传播模型校正和覆盖区域预测[D].武汉:华中科技大学,2018.

收稿日期:2020-06-10

作者简介:刘欣博(1982),女,副教授,主要从事微电网稳定控制及高压输电线路分布式取电技术研究。

(本文编辑:方明霞)