

doi:10.3969/j.issn.1003-3114.2016.04.06

引用格式:姚 敏,王 东.沙尘暴对对流层散射通信的影响分析[J].无线电通信技术,2016,42(4):21-24.

沙尘暴对对流层散射通信的影响分析

姚 敏,王 东

(中国电子科技集团公司第五十四研究所,河北 石家庄 050081)

摘要: 对流层散射通信在军事通信领域具有广阔的应用前景,但在沙漠地区,由于无线信道受到沙尘衰的影响,散射的应用会一定受到限制。通过分析一个沙漠地区沙尘粒子的介电特性,得出了沙尘环境下的沙尘随可见度变化的附加衰减损耗,并通过沙漠地区的实际线路测量和分析比较,初步验证了散射通信用于沙漠地区的可行性,并给出了沙漠地区散射应用的建议和优化条件。

关键词: 沙尘衰;对流层散射;沙尘介电特性;传播损耗

中图分类号: TN926.4 文献标志码: A 文章编号: 1003-3114(2016)04-21-4

Analysis on Influence of Sand Storm on Troposcatter Communicaiton

YAO Min, WANG Dong

(The 54th Institute of CETC, Shijiazhuang Hebei 050081, China)

Abstract: Troposcatter communication has an extensive application prospect in military communications. However, in desert area, the application of troposcatter communication may be limited partly due to an attenuation loss influence on wireless channel. Through an analysis of the dust and sand particle dielectric characteristics of a desert location, the additional attenuation loss varying with the visibility variation is given under dust and sand conditions. The simulation results are compared and evaluated with real communication link data in desert region. The feasibility of troposcatter communication in desert region is verified initially, and some recommendations and optimizations for troposphere applications in desert region are presented.

Key words: dust and sand attenuation; troposcatter communication; dust and sand dielectric characteristics; propagation loss

0 引言

对流层散射通信是利用对流层大气中不均匀体对无线电波的前向折射,形成弯管传输,从而达到跨越视野通信目的的一种通信手段^[1]。凭借通信距离远、传输容量大、抗干扰抗截获,及可全天候工作等突出优点,在国内外的军用干线通信领域舞台发挥着重要的作用。

然而散射通信在某些应用环境下呈现出较大的衰减效应^[2-3],例如沙尘环境特别是沙尘暴就对电波在空间的传播具有一定影响^[4]。有文献[5]表明,在沙尘暴和战场爆炸环境下,沙尘对无线电波的衰减是存在的,甚至在某些极端应用场景下,出现过沙尘暴导致散射通信帧失步的严重情况。

因而在未来的散射通信应用中,若要实现全天

候、各种气象条件下的信号收发,很有必要对沙尘对散射传播机理的影响进行系统的研究,建立具有一定工程参考价值的系统模型,为沙漠地区应用散射通信,进行工程设计提供决策依据。

1 国内外研究现状

目前,由于沙尘因素具有地域性,且不是影响对流层通信的主要因素,因此国内外对这方面的研究不多,特别是建立系统的沙尘衰减模型,少量的数据也都是围绕微波通信展开的。

苏丹记录了十多年来沙尘暴发生的统计数据,并实地测量了微波在沙尘暴中产生的衰减。Al-Hafid在伊拉克 Baghdad 附近的纳西里亚至 Darrji 之间的 45 km、11 GHz 的微波电路上进行了沙尘暴直接影响的研究^[6-7],观察时采用一种开口谐振器记录下 6 月 1 日~8 月 15 日间伊拉克 3 个月的接受信号强度,分析计算了电磁波通过不同沙尘粒子浓度时的衰减,发现短期(几十分钟)的沙尘暴会对微

收稿日期:2016-03-02

作者简介:姚 敏(1983—),女,工程师,主要研究方向:通信系统。王 东(1976—),男,高级工程师,主要研究方向:通信系统。

波信号衰减 10~15 dB, 观察到一次 10 dB 的衰落持续了 150 min, 另一次 26 dB 的衰落持续了 40 min, 在某些严重的沙尘暴情况下, 信号衰减会导致一连几个小时的完全衰落。对高于 10 GHz 的微波信号来说, 沙粒浓度越大衰减越大, 当波长接近沙粒大小时, 衰减达到最大值。

2 沙尘衰减理论分析

沙粒的形状具有复杂的多样性, 它取决于地区环境与沙尘的成因。沙尘尺寸通常采用实测的方法, 但由于实测既需要复杂的测试设备, 还需要大范围相应的实验场地、大量的人力和时间, 而结果往往呈现地域特点, 因此, 至今尚无足够的实测数据。本文对沙尘分布进行抽象简化, 认为沙尘的尺寸分布在数十微米到数百微米范围内。而不同的测量结果也表明: 沙尘粒径分布接近于对数正态分布:

$$N(D) = N_0 \times p(D), \quad (1)$$

式中, N_0 为沙尘的体密度 ($1/m^3$), $p(D)$ 为尺寸分布密度:

$$p(D) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma D} \exp\left[-\frac{(LnD-m)}{2\sigma}\right], \quad (2)$$

式中, m 和 σ 为参数 LnD 的均值和标准偏差。对于常见沙尘参数的均值 m , 标准偏差 σ , 以塔克拉玛干沙漠为例, 一般认为该地区的体密度 N_0 如表 1 所示^[7]。

表 1 沙粒粒径分布的统计参数

地区	均值	标准偏差	体密度
塔克拉玛干沙漠	-8.305	0.567	5.984×10^6

沙尘粒子是由干沙和所含水分组成的复合介质, 其复合介电常数由沙和水的介电常数决定, 且随频率变化, 如图 1 所示。因此通过二者之间的群粒子散射理论将其结合在一起, 以求得沙尘的介电常数。我们先来求干沙的复介电常数, 其经验公式为^[8-9]:

$$\begin{cases} \varepsilon_{s_r} = 3 \\ \varepsilon_{s_i} = 60\lambda\sigma = \begin{cases} 1.8 \times 10^{(2\lg f - 2.8)} / f, & 0.8 \text{ GHz} \leq f < 80 \text{ GHz}, \\ 18.2560 / f, & f \geq 80 \text{ GHz} \end{cases} \end{cases} \quad (3)$$

式中, ε_{s_r} 和 ε_{s_i} 分别为沙尘的复介电常数的实部和虚部, 频率 f 以 GHz 为单位。

而水的介电特性是由水分子的极性造成的, 利用瑞经验公式可得, 水的复介电常数的实部 ε_{w_r} 和虚部 ε_{w_i} 分别为:

$$\varepsilon_{w_r} = \varepsilon_{\infty} + \frac{(\varepsilon_{ew} - \varepsilon_{\infty}) \left[1 - \left(\frac{\lambda_{ew}}{\lambda} \right)^{1-\alpha} \sin \frac{\alpha\pi}{2} \right]}{1 + 2 \left(\frac{\lambda_{ew}}{\lambda} \right)^{1-\alpha} \sin \frac{\alpha\pi}{2} + \left(\frac{\lambda_{ew}}{\lambda} \right)^{2(1-\alpha)}}, \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{w_i} = & \frac{(\varepsilon_{ew} - \varepsilon_{\infty}) \left[\left(\frac{\lambda_{ew}}{\lambda} \right)^{1-\alpha} \cos \frac{\alpha\pi}{2} \right]}{1 + 2 \left(\frac{\lambda_{ew}}{\lambda} \right)^{1-\alpha} \sin \frac{\alpha\pi}{2} + \left(\frac{\lambda_{ew}}{\lambda} \right)^{2(1-\alpha)}} + \\ & \frac{\sigma_w \lambda}{18.8496 \times 10^{10}}, \end{aligned} \quad (5)$$

其中:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{ew} &= 78.54 \times [1 - 4.579 \times 10^{-3}(t-25) + \\ & 1.19 \times 10^{-5}(t-25)^2 - 2.8 \times 10^{-8}(t-25)^3], \\ \sigma_w &= 12.5664 \times 10^8 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}, \\ \varepsilon_{\infty} &= 5.27137 + 0.0216474t - 0.00131198t^2, \\ \alpha &= -16.8129 / (t+273) + 0.0609265, \\ \lambda_{ew} &= 0.00033836 \times \exp[2513.98 / (t+273)]. \end{aligned}$$

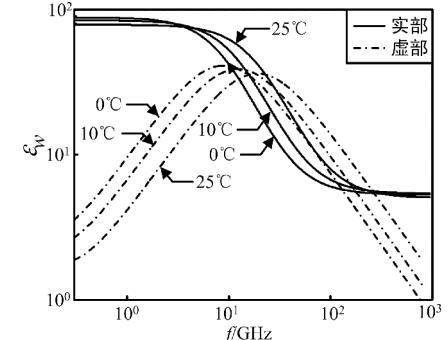


图 1 水的介电常数实部及虚部随频率变化

再由麦克斯韦-格尼特 (Garnet) 公式可以计算非均匀的水凝体介电常数:

$$\varepsilon_e = \varepsilon_s \left[\frac{3p \frac{\varepsilon_w - \varepsilon_s}{\varepsilon_w + 2\varepsilon_s}}{1 + p \frac{\varepsilon_w - \varepsilon_s}{\varepsilon_w + 2\varepsilon_s}} \right], \quad (6)$$

式中, ε_e 为湿沙的复介电常数, ε_s 和 ε_w 分别为干沙和水的复介电常数, p 为水的体积百分数。

由粒子散射产生的衰减率 γ_e (dB/km) 和相移率 β_e 分别表示为:

$$\gamma_e = 8.686 \times 10^3 \frac{2\pi}{k^2} \int_0^{D_m} \text{Re}[S(0)] N(D) dD, \quad (7)$$

$$\beta_e = 57.296 \times 10^3 \frac{2\pi}{k^2} \int_0^{D_m} \text{Im}[S(0)] N(D) dD, \quad (8)$$

式中, k 为自由空间传播常数 (m^{-1}), $N(D)$ 为粒子尺寸分布密度, D 为粒子直径 (mm)。

由于在散射应用的频段沙尘的粒径是远小于波长的, 因此, 前向散射幅度 $S(0)$ 可用瑞利近似公示表示, 并将对数正态分布函数代入式(7), 可得沙尘衰减率的表达式为^[2]:

$$\gamma_e = 0.4288 \times 10^6 \frac{\varepsilon_e^*}{(\varepsilon_{e_r} + 2)^2 + \varepsilon_{e_i}^2} f N_0 \cdot \exp(3m + 4.5\sigma^2). \quad (9)$$

图 2 给出了沙尘湿度为 0%、5% 和 10% 的环境下,5 GHz 和 8 GHz 信号的沙尘环境衰减率随可见度变化的计算曲线。沙尘粒径统计参数参考表 1 的相关沙尘体密度 N_0 、 lnD 均值 m 和标准偏差 σ 。

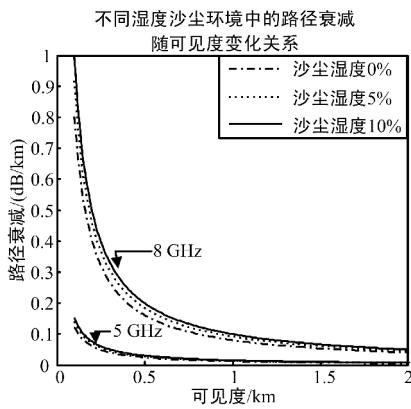


图 2 不同沙尘环境信号衰减率与可见度的关系

需要说明的是,沙尘对通信链路的影响不仅体现在链路衰减方面,还存在一定的相移和交叉去极化效应。但是,相移在这个频段并不是影响链路质量的主要因素,而交叉去极化效应主要体现在对圆极化波和交叉极化干扰抵消(XPID)的影响,而散射通信往往采用线性极化方式,因而影响较小。

另外,沙尘不仅体现在对无线链路信号衰减方面,沙尘在天线面上的沉积,也将会导致信号增益衰减和方向图畸变^[10-11]。此问题很少有人关注,现有文献报道的也只有 Kumar、Bashir 与 McEvan,而且他们仅仅讨论了在实验室环境下几种沙尘沉积在未受保护的反射天线上的理想情况,并没有长期实际的沙尘环境的试验数据予以佐证,因此,此类研究还是停留在实验室阶段。

通过分析推断,沙尘暴对通信天线的物理影响可能还是存在的。类似于美军的散射装备在伊拉克地区的应用,美军散射 TRC-170、MTTS 的天线多采用实面,且为正馈和上偏馈方式,沙尘在天线面上的积聚效应,根据文献资料的相关描述进行推断,衰减可能达到数分贝到十几分贝。以如此量级衰减作为整个散射通信链路的附加部分来看,天线沙尘沉积对链路质量的影响还是十分可观的。

3 沙漠地区传输试验

为了研究散射在沙漠地区极端环境下的传输特性,2014 年 7 月中下旬在我国西北部地区,库尔勒至若羌之间(塔克拉玛干沙漠)进行了多条散射链路的试验,链路距离从 100 km 至数百公里不等,其

中经历了 2 次沙尘天气,并通过信道测试设备对该环境下的散射链路信道状态进行了测试^[12]。

其中:链路 1 为 G218 国道某处至 G315 古楼兰桥的通信链路,距离 313 km,天气为晴,但两端均有不同程度扬沙,风力为 4~5 级,温度为 30℃,湿度为 10%~30% 之间,如图 3 所示。

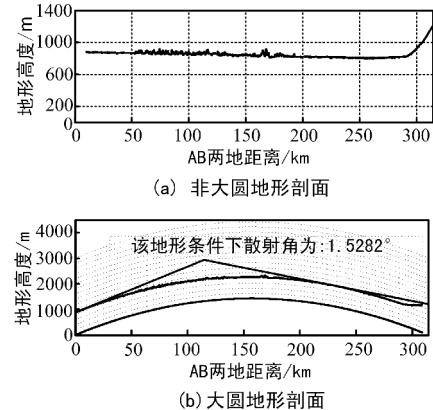


图 3 链路 1(G218 至 G315 古楼兰桥)地形剖面

链路 2 为 G218 国道某处至 G315 若羌以西某处的通信链路,距离 190 km,天气为晴,其中,若羌试验点有沙尘出现,温度为 33℃,若羌试验点湿度为 15%,如图 4 所示。

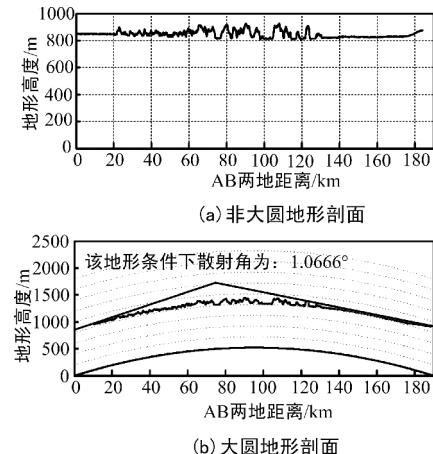


图 4 链路 2(G218 至 G315 若羌试验点)地形剖面

经过站址规划及选择,2 条散射线路两端的仰角均控制在 1° 左右,进行实验分析时,可忽略线路双端仰角带来的额外损耗。测试设备包括收发信机、400 W 功放、2.4 m 栅格抛物面天线、信道测试设备及工控机等,测试频段为 C 频段。进行信道测试时,信道测试设备通过发送测试波形,并采集对端发送的数据,同时在工控机上进行实时分析并存储信道测试结果。一般来说,每条线路测试 3~6 h,对

于接收电平,每隔7~8 min测试1组数据,每组测试时间为30 s,记录30 s时间内的中值电平和衰落速率。最终统计出整个测试时间的中值电平,并折算为中值传输损耗。

4 试验数据分析

将理论沙尘带来的附加损耗方法用于对实际线路的预计,计算和对比了这2条沙尘环境散射传播特征的线路传输损耗,表2为这2条链路的对比测试数据。

表2 实测数据及工程计算结果

线路	通信距离/km	风沙环境	实测损耗/dB	计算损耗/dB	预计附加损耗/dB
G218-古楼兰桥	313	扬沙	235	232.8	3
G218-若羌	190	单端扬沙	223.5	223.6	1.5

由于链路试验中的沙尘可见度仅来源于试验人员直观的目测结果,其准确性较低,不足以充分支撑理论结果;且沙尘在通信链路过程中的覆盖程度并不得而知,只能大体推断。因此,此试验对沙尘环境对流层散射衰减的预测并不明晰,但计算损耗与实测损耗相比相差不大于3 dB,较为科学地反应了散射通信链路的实际情况。

5 试验结论及工程建议

通过上述理论及试验比较分析,可以得出下列观点:

① 沙尘环境对散射通信存在影响:受限于试验不同季节、不同地区沙尘暴强度以及覆盖范围的原因,试验并不能确切定量给出强恶劣环境对散射通信的影响程度,只能给出定性的结论和初步的分析结果;

② 在沙尘环境中频段越高链路衰减越大:虽然本次试验并未进行高频段散射的通信试验,但多项理论分析表明,频段升高对散射通信中的影响,特别是沙尘暴等恶劣天气,因此,在进行沙漠环境站型设计时应充分考虑;

③ 适应沙漠环境的特定散射站型设计:在强风沙尘环境下,沙尘对散射站的物理侵蚀特别严重,初步分析表明,沙尘沉积在天线及馈源表面,产生的衰减和对天线方向图的影响相比于链路中的沙尘衰减

而言,也不可小觑。因此,通信站的天线等机构要进行栅格化防风处理,必要时应研究新型材料以适应沙漠环境。

6 结束语

上述研究主要针对沙漠地区特别是沙尘暴环境下的散射通信传播损耗进行了深入分析,给出了不同频率下的每公里衰减和沙尘可见度之间的关系,并通过相应地区的实际线路试验分析进行了佐证,具有一定工程设计参考价值。最后,对于散射在沙漠地区的工程应用给出了建议。

参 考 文 献

- [1] 熊皓,涂师聪,奚迪龙,等.无线电波传播[M].北京:电子工业出版社,1998.
- [2] 黄宁,郑晓静,陈广庭,等.沙尘暴对无线电波传播影响的研究[J].中国沙漠,1998,18(4):350~353.
- [3] 周旺,周东方,侯德亭,等.微波传输中沙尘衰减的计算与仿真[J].强激光与粒子束,2005,17(8):1259~1262.
- [4] 董庆生.我国典型沙区中沙尘的物理特性[J].电波科学学报,1997,12(1):15~25.
- [5] 陈祥占.从海湾战争看沙暴对无线电通信的影响[J].全球定位系统,1991(6):1~4.
- [6] 董群锋,许家栋,李应乐,等.微波在带电沙粒中的衰减效应[J].强激光与粒子束,2009,21(10):1517~1520.
- [7] 李应乐,梁昌慧.湍流与尘暴对电磁波传播的影响[J].咸阳师范学院学报,2003,18(4):16~18.
- [8] Ibrahim M S, Hamed M A, Haitham M S. Estimation of Wave Attenuation Due to Dust and Sand Storms in Southern Libya Using Mie model[C]// Wireless & Microwave Technology Conference, 2012:1~5.
- [9] McEwan N J, Bashir S. Measurements of Crosspolarisation and Gain Reduction Due to Dust on a Microwave Reflector Antenna[J]. Electronics Letters, 1985, 21(24): 1141~1143.
- [10] 弓树宏.电磁波在对流层中传输与散射若干问题研究[D].西安:西安电子科技大学,2008:31~82.
- [11] 张晓露.地面、沙漠的电磁散射特性研究[D].西安:西安电子科技大学,2009.
- [12] Al-Rizzo H M, Al-Hafid H T. Measurements of the Complex Dielectric Constant of Sand and Dust particles at 11 GHz [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 1988, 37(1):110~113.