

煤矿井下无线电噪声的研究

王文清^{1,2}

(1. 北京工业职业技术学院, 北京 100042; 2. 北京市煤炭矿用机电设备技术开发公司, 北京 100042)

摘要:分析了矿井噪声系数的预测方法,针对煤矿井下供电的特点,提出了通过测量电场强度来计算得到环境噪声系数的方法,在不同的巷道环境得出关于噪声系数的预测方程。研究表明:井下输电线路对井下噪声系数基本没有影响,井下空巷道与只有输电电缆巷道的噪声系数随频率变化基本一致;蓄电池机车通过时对噪声系数影响较小;变频器噪声系数起伏较大,衰减较其他曲线变化缓慢;架线电机车巷道在机车运行时,对环境噪声系数影响很大,噪声系数起伏变化大。

关键词:电磁干扰;噪声测量;噪声系数;预测方程

中图分类号:TD655.3

文献标志码:A

Study on the radio noise in coal mine

WANG Wen-qing^{1,2}

(1. Beijing Polytechnic College, Beijing 100042, China; 2. Beijing Coal Mining Electric Equipment & Technique Development Company, Beijing 100042, China)

Abstract: Analyzed the method of predicting noise coefficient in the underground mine. According to the characteristics of power supply in the underground coal mine, proposed the method of obtaining the environment noise coefficient by measuring the electric field intensity, and of getting the predicting equation of noise coefficient in the different tunnels. The results show that the power line in the underground has basically no effect on the noise coefficient. The influence of frequency change on the noise coefficient at the empty tunnel and the tunnel which was only placed cable in are almost the same. It has smaller effect on the noise coefficient when the battery locomotive passing through the tunnel. The noise coefficient of frequency-converter waves ups and downs sharply, and comparing with other curves the attenuation change slowly. The trolley have a great effect on the environment noise coefficient, and the noise coefficient will go ups and downs sharply when the trolley running.

Key words: electromagnetic interference; noise measurement; noise coefficient; prediction equation

在无线通信系统中,无线电噪声是各种无线电系统设计的基础数据,噪声变化 20 dB 相应于发射系统发射功率改变 100 倍。在数字移动通信系统中,约有 20% 的错误是由无线电噪声的影响造成的^[1],当设计一个无线电通信系统时,需要针对该通信系统所处不同环境的电噪声水平对系统提出相应的如信噪比、接收灵敏度、抗干扰等级等设计要求。而目前的实际情况是,由于对井下环境电噪声的研究无论在理论还是在实践上尚属空白,致使煤矿井下无线通信系统普遍采用地面移动通信系统的设计要求,而煤矿井下电

磁环境比地面恶劣得多,这就造成了井下移动通信系统通信质量的下降或时常出现工作不正常。因此井下噪声的测量与分析,对于提高井下无线通信系统的性能极为必要^[2-3]。

要进行井下无线电噪声分布规律的研究,首先要研究煤矿井下无线电噪声的测量方法,测量并掌握煤矿井下无线电噪声的分布规律,建立无线电噪声预测方程,为井下无线通信系统的设计提供电磁兼容依据。文献[4-7]对地面无线电噪声的测量方法和分布规律进行了研究,其原理是在一定范围的一系列的

收稿日期:2011-01-19 责任编辑:许书阁

基金项目:北京市教育委员会基金资助项目(PXM2008_014225_055773, PXM2011_014225_113507)

作者简介:王文清(1963—),男,北京人,高级工程师。Tel:010-51511330, E-mail:wwenqing@sina.com

频率下对噪声的功率密度谱进行长期测量,取其测量的平均值来确定的,这样做可以充分反映出地面该区域气候、时段等因素对背景电噪声的影响,但成本很高。为满足煤矿井下对电气设备的防爆要求,煤矿井下电噪声测试设备必须使用煤矿井下的本安电源,而煤矿井下的本安电源都是直流的,而目前地面所有的电噪声测量仪器都需要交流供电,这也使地面无线电噪声的测量仪器和方法难以在井下应用。

在煤矿井下密闭空间中,地面的电磁噪声对井下环境噪声几乎没有影响,地面某一区域无线电噪声的大小要受该区域的气候条件、时段等因素影响^[8-10],而煤矿井下电噪声和气候条件、时段等没有关系。因此,煤矿井下也没有必要采用地面评估电噪声的方法。

煤矿井下巷道中电磁噪声污染主要来自输电线路、蓄电池机车、变频器以及架线电机车^[9],通过大量测试发现:巷道中电气设备和测试条件相同的情况下,在现有测试仪器精度和技术条件下,可以认为巷道自身结构尺寸对电噪声分布规律是没有影响的。即:环境背景电噪声水平只与巷道内电气设备有关。煤矿井下大巷内电磁环境存在以下不同情况:井下没有任何输电设备及电气设备的空巷道、具有输电线路的巷道、具有蓄电池机车的巷道、具有架线电机车的巷道等情况,因此需要对不同情况分别进行测试分析,得出不同情况下的无线电噪声情况,为井下无线移动通信系统的设计提供参考。

本文提出了煤矿井下背景电噪声预测方法,其原理是利用频谱分析仪测量不同频率下的电场强度,并按本文提出的方法计算各频率下的噪声系数,进而得到一实测曲线,再用最小二乘法对实测曲线进行拟合,最终得到煤矿井下电噪声预测曲线方程。

1 工作原理

最常用的描述电磁环境的参数是环境的噪声功率。噪声功率是影响噪声的最主要因素。一个理想的无损天线噪声系数^[11-12]定义为

$$f_a = \frac{P_n}{kT_0b} \quad (1)$$

其相应的噪声系数为

$$F_a = 10\lg \frac{P_n}{kT_0b} \quad (2)$$

式中, F_a 为噪声系数,表示在单位带宽上噪声功率与 kT_0 的关系,dB; P_n 为无损天线的平均噪声功率,W; k 为波尔兹曼常数, 1.38×10^{-23} J/K; T_0 为参考温度,290 K; b 为接收系统的噪声功率带宽,Hz。

此系统接收到的噪声功率 P_n 为

$$P_n = \frac{(EL_e)^2}{4r_0} \quad (3)$$

设天线的电流分布为正弦分布,则天线的有效高度为

$$L_e = \frac{\lambda}{2\pi} \tan \frac{\pi L}{\lambda} \quad (4)$$

式中, L 为偶极接收天线的单臂长度; λ 为接收信号的波长。

对于短偶极天线,其辐射电阻为

$$r_0 = \frac{40\pi^2 L^2}{\lambda^2} \quad (5)$$

将式(5)代入式(3)得

$$P_n = \frac{14.15E^2}{f^2} \quad (6)$$

将式(6)代入式(2)得

$$F_a = 20\lg E - 20\lg f - 10\lg b + 204 \quad (7)$$

式中, E 为接收信号的场强,V/m; f 为接收信号的频率,MHz。

利用式(7)可以计算得到不同频率的噪声系数。

2 测量系统及测量结果分析

2.1 测量系统

在煤矿井下无线电噪声测量中,为了使测试结果具有代表性,首先选择的频段为20~200 MHz。2009年4月在某集团公司7号矿井不同环境进行了测试,理论分析和现场测试表明,在煤矿井下的主要电磁干扰来自变频器等电气设备,其功率谱密度主要集中在20~200 MHz频段,在特高频及以上频段,煤矿井下电气设备产生的干扰很小。

在实验矿井的巷道中有各种不同的情况,即空巷道、巷道内只有输电线路、变频器、蓄电池机车巷道和架线电机车巷道。可以分别对巷道内噪声的特性进行比较。测量仪器采用直流供电的频谱分析仪,笔者经过全面的调研,最终选择使用德国RS公司生产的FSP7频谱分析仪,此仪器不但具有直流供电方式,同时本身具有电磁兼容性,不会对周围空间形成干扰。而频谱分析仪测量结果为天线输出电压。天线因子和天线输出端电压关系可用式(8)表示,即

$$A_F = E/U \quad (8)$$

式中, A_F 为天线因子, m^{-1} ; U 为测量天线的输出端电压,V。

由式(8)取dB表示可得

$$E(\text{dB} \cdot \mu\text{V}/\text{m}) = A_F(\text{dB}/\text{m}) + U(\text{dB} \cdot \mu\text{V}) \quad (9)$$

由于频谱分析仪可以直接对输入电压取对数得

分贝值,因此只要在测试前对频谱分析仪进行预先设置,即参照天线系数图对数据进行修正,就可以得到被测量场的电场强度。

测试时将已知天线因子的天线放置于 1.5 m 高的支架上,固定好,通过 2.5 m 线缆与频谱分析仪连接,通过频谱分析仪内的计算机控制并采集测量结果,测量结果直接保存到计算机内。

2.2 测量结果及分析

以下是 20 ~ 200 MHz 测试数据(电场强度)应用式(7)进行数据处理及分析的情况。

图 1 是井底大巷底弯处噪声系数分布情况及分析结果。此处井下没有任何电力设施,因此可以作为空巷道电磁噪声系数结果,测量不同频率下的电场强度,采用式(7)逐点计算各频率下的噪声系数,就可以得到图 1 中噪声系数实测曲线。

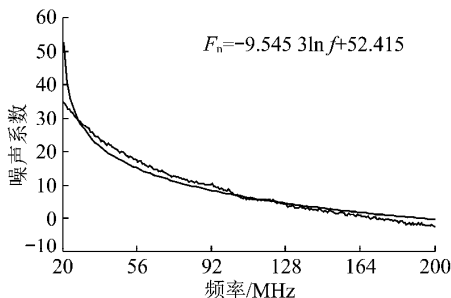


图 1 井底空巷道噪声系数分布

Fig. 1 Distribution of the noise coefficient in empty passageway of underground

由图 1 可知随频率的升高噪声系数逐渐减小,最大值为 34.873 41、最小值为 -2.336 08。再用最小二乘法对实测曲线进行拟合,可得空巷道电噪声预测方程为

$$F_n = 52.415 - 9.545 3 \ln f \quad (10)$$

从图 1 可以看到,预测曲线与实测曲线相比,在初始阶段即 20 ~ 25 MHz 范围内误差较大,25 ~ 200 MHz 绝大部分测试数据与预测方程一致。

图 2 是井底大巷内只有输电线路情况下噪声系数分布情况及分析结果。此处巷道壁上有许多条输电线路,没有其他的电气设备。测量不同频率下的电场强度,采用式(7)逐点计算各频率下的噪声系数,就可以得到图 2 中噪声系数实测曲线,最大值为 35.712 72、最小值为 -2.041 46。再对实测曲线进行拟合,可得电噪声预测方程为

$$F_n = 53.667 - 9.645 9 \ln f \quad (11)$$

从图 2 可以看到,在初始阶段误差较大,绝大部分测试数据与预测方程一致。

图 3 是大巷内有变频器在运行时的噪声系数分

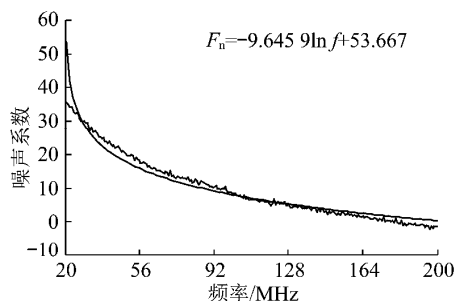


图 2 大巷内只有输电线路情况下噪声系数分布

Fig. 2 Distribution of the noise coefficient in passageway only with power lines

布情况及预测方程,大巷里只有电气设备“ZJT - 200/660 矿用隔爆兼本质安全型变频调速装置”在工作,该变频器工作电压 AC660V、AC1140V,功率范围 75 ~ 600 kW。测量不同频率下的电场强度,采用式(7)逐点计算各频率下的噪声系数,就可以得到图 3 中噪声系数实测曲线,最大值为 39.404 98、最小值为 7.439 435。再对实测曲线进行拟合,可得电噪声预测方程为

$$F_n = 47.257 - 5.909 6 \ln f \quad (12)$$

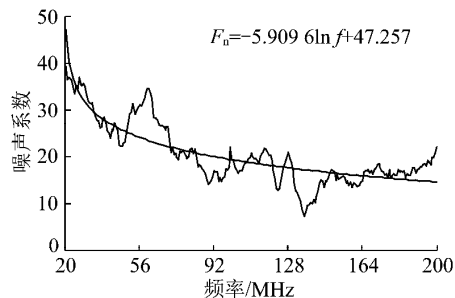


图 3 变频器噪声系数分布

Fig. 3 Distribution of the noise coefficient of transducer's

从图 3 可以看到,在 52 ~ 70、88 ~ 95、130 ~ 142 以及 182 ~ 200 MHz 几段频率范围内实测噪声系数起伏大,说明在这几个频段噪声干扰较严重,同时说明变频器产生较强的电磁辐射干扰。实测曲线总体上与预测方程一致。

图 4 是蓄电池机车通过时噪声系数分布情况。大巷里只有电气设备“CTY2.5/9G 防爆特殊型蓄电池电机车”在以 3 m/s 的速度运行,该蓄电池电机车电压 48 V、电池容量 330 A·h、电机功率 3.5 kW、牵引力 2.55 kN,采用与上述同样的方法对数据进行处理。在此处噪声系数最大值为 42.267 26、最小值为 6.568 14,

由图 4 可知,随频率的升高噪声系数逐渐减小,但是在 72 ~ 90 以及 105 MHz 左右有较大的起伏,说明在这两段存在比较强的干扰。对实测曲线进行数

值拟合,可得预测曲线方程为

$$F_n = 59.665 - 8.8415 \ln f \quad (13)$$

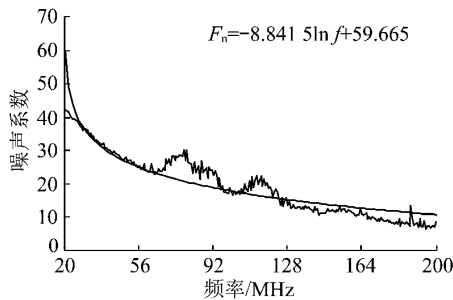


图4 蓄电池机车通过时噪声系数分布

Fig. 4 Distribution of the noise coefficient when passed by accumulator locomotive

图5是井下架线电机车巷道环境噪声系数分布情况。大巷里只有电气设备“CJY14/9P架线式工矿电机车”在运行,该电机车规矩900 mm,双轨平直巷道,电机车供电电压为直流250 V,5 t矿车,机车以3 m/s的速度运行,采用与上述同样的方法对数据进行处理,在此处噪声系数最大值为85.165 8、最小值为20.135 76,由图5可知随频率的升高噪声系数逐渐减小。

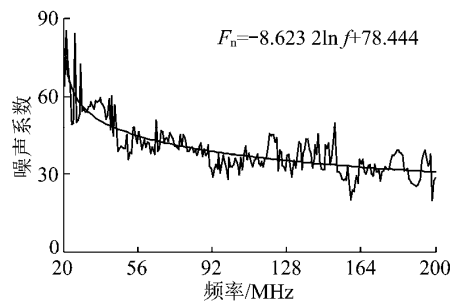


图5 架线电机车巷道环境噪声系数分布

Fig. 5 Distribution of the noise coefficient when passed by stringing electric locomotive

由图5可以看到,在整个频段内噪声系数起伏较大,说明在整个频段的电磁干扰严重。对电机车巷道的实测曲线进行数值拟合,可得预测曲线方程为

$$F_n = 78.444 - 8.6232 \ln f \quad (14)$$

如果是在“输电线路”和“蓄电池机车”同时运行的巷道中,其无线电噪声为图2情况下噪声系数的均方差的叠加。

3 结 论

利用频谱分析仪测试现场干扰的电场强度,提出了一种适合煤矿井下环境的背景电噪声预测方法,根据该方法,通过分析和测试得出了煤矿井下典型设备产生的电噪声特点,可以看出:巷道内的噪声系数随频率的增加逐渐减小;巷道内运行的电气设备会增加

巷道内的电气噪声,架线电机车产生的噪声最大。

该成果在北京市教委科技成果转化项目“煤矿井下移动目标自动识别与管理系统的电磁兼容设计中得到验证,可以有效地降低射频识别数据的误读,提高井下无线通信系统的抗扰度。对从事煤矿井下射频识别项目研发、应用的科技与管理人员提供一定的参考。

参考文献:

- [1] Ming Huichang, Ken Huanglin. A comparative investigation on urban radio noise at several specific measured areas and its applications for communications [J]. IEEE Transactions on Broadcasting, 2004, 50 (3): 233-243.
- [2] 孙继平,潘涛,田子建. 煤矿井下电磁兼容性探讨 [J]. 煤炭学报, 2006, 31(3): 377-379.
Sun Jiping, Pan Tao, Tian Zijian. Study on electromagnetic compatibility in coal mine [J]. Journal of China Coal Society, 2006, 31(3): 377-379.
- [3] Sun Jiping, Ma Fengying. Improved shielding and filtering applied to immunity enhancement of underground gas sensors [J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2008, 18(2): 220-223.
- [4] CCIR report 322-2. Characteristics and application of atmospheric radio noise data [R]. Geneva, 1983.
- [5] CCIR report 322-3. Characteristics and application of atmospheric radio noise data [R]. Geneva, 1988.
- [6] Mills A H. A survey of radio-frequency noise in urban, suburban, and rural areas [J]. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 1968, 10: 108-112.
- [7] 王聚杰,张添益,杨维富. 大气无线电噪声测量与分析 [J]. 通信学报, 2000, 21(11): 86-90.
Wang Jujie, Zhang Tianyi, Yang Weifu. Measurement and analysis of atmospheric radio noise [J]. Journal of China Institute of Communications, 2000, 21(11): 86-90.
- [8] Anzic G. Measurement and analysis of radiofrequency indigenous noise [A]. Proc. IEEE Int. Symp. Electromagn. Compat. [C]. 1970: 183-195.
- [9] 邹家禄,张广福,程时昕. 城市无线电噪声的测量及分布规律研究 [J]. 通信学报, 1997, 18(8): 63-70.
Zou Jialu, Zhang Guangfu, Cheng Shixin. Measurements and probability distributions of radio noise in city [J]. Journal of China Institute of Communications, 1997, 18(8): 63-70.
- [10] Lauber W R, Bertrand J M. Man-made noise level measurements of the UHF radio environment [A]. Proc. IEEE Int. Symp. Electromagn. Compat. [C]. 1984: 85-192.
- [11] Dornetto L D, Reaves J R, Valoppi L M. An automated HF noise measurement system [A]. Proc. IEEE Int. Symp. Electromagn. Compat. [C]. 1986: 90-96.
- [12] Hachiya T, Suzuki T, Echigo H R. et al. Radio noise measurement near the vehicle traffics [A]. Proc. IEEE Int. Symp. Electromagn. Compat. [C]. 1999: 774-777.