**煤矿电气设备电磁骚扰现场测试**

**技术规范**

Technical specification for field test of electromagnetic disturbance of electrical equipment in coal mine

（征求意见稿）

目 次

[1 范围 5](#_Toc153368112)

[2 规范性引用文件 5](#_Toc153368113)

[3 术语和定义 6](#_Toc153368114)

[4 现场测量一般要求 7](#_Toc153368128)

[5 辐射发射的现场测量方法 9](#_Toc153368134)

[6 传导发射的现场测量方法 11](#_Toc153368141)

附录A（规范性）天线系数推导 [13](#_Toc153368147)

前 言

本文件按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件起草单位：安标国家矿用产品安全标志中心有限公司、煤炭科学技术研究院有限公司、国家能源集团神东煤炭集团公司等。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国煤炭学会提出。

本文件由中国煤炭学会归口。

本文件主要起草人：XXXX

煤矿电气设备电磁骚扰现场测试技术规范

1. 范围

本标准规定了煤矿井下爆炸性环境中电子、电气和机电等设备的电磁骚扰的现场测量方法。

本部分覆盖辐射发射和传导发射测量，而不包括抗扰度试验。其中，弱电设备发射测量主要目的是测量自身连接线缆及设备本身接收到的干扰信号。

本标准只是作为一个关于如何处理安装在煤矿井下典型区域内的重点装置现场发射测量的导则，并未规定发射要求。

注1：本指导性技术文件旨在用于实际安装在煤矿井下，为实施各类煤矿重点设备的现场测试提供信息。

注 2：煤矿重点设备是指诸如掘进机、采煤机、水泵、通风机、输送机、变频、监控、通信、机器人智能化装备等。

同一型号的EUT在不同场地的现场测量结果与标准试验场地测得的结果是不同的，因此现场测量不用于型式试验。

如果相关的产品标准允许，本标准也可用于符合性评估。

1. 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件，凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 4365-2003 电工术语 电磁兼容 (IEC 60050(161):1990,IDT)

GB/T 3836.1-2021 爆炸性环境 第 1 部分： 设备 通用要求

GB/T 3836.2-2021 爆炸性环境 第 2 部分： 由隔爆外壳“d” 保护的设备

GB/T 3836.4-2021 爆炸性环境 第 4 部分： 由本质安全型“i”保护的设备

GB/T 44119-2024 辐射骚扰1m法天线系数测量方法

GB/T 6113.101-2021 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第1-1部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备测量设备

GB/T 6113.102-2018无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第1-2部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备﹐辅助设备传导骚扰

GB/T 6113.104-2021无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第1-4部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备辅助设备辐射骚扰

1. 术语和定义

GB/T 4365界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

* 1. 边界boundary

对于重点设备是指由包围受试设备或系统的简单儿何构造描述的假想直线边缘。大型设备内部的所有连接电缆应包含在这一边界内。

* 1. 天线参考点antenna reference point

天线校准过程中的参考点，用于确定天线和受试设备之间的测量距离。

* 1. 关于EMC在预期效用方面的偏离deviation from intended use regarding EMC

装置，设备或系统在安装和/或运行时，与制造商在用户手册中所给出用法说明的偏离。注：这里的安装涉及指定的环境和包括电缆布线在内的电气条件。

* 1. 分配点distribution point

电气上可以与其他设备或终端连接的、最接近特定通信设备或终端的、系统或装置内部的数据和通信网络上的点。

* 1. (现场测量的)参考点reference point (in situ measurement)

现场测量实施点。

注1：进行辐射测量时，参考点是从边界沿着法线方向到天线参考点的连线上得到的。

注2：依据频率范围可能会定义不同的参考点。

注3：测量时考虑的边界，取决于实际的现场条件。

* 1. 受干扰设备victim equipment

被电磁信号干扰的设备。

* 1. 受试设备equipment under test（EUT）

承受电磁兼容试验的设备(装置﹑器具和系统)。

* 1. 电缆端口(cable port）

设备上连接电缆或导线的端口，如信号线端口、控制线端口和电源线端口。

* 1. 功能地端口(function earth port)

除信号线端口、控制线端口以及电源线端口外地电缆端口，连接到地但是不用于电气安全。

* 1. 信号线端口(signal port)

跟仪器相连的、用来承载信息进行数据传递的导体或电缆上的端口。如数据通路、通信网络、控制网络等。

* 1. 电源线端口(power port)

为实现仪器正常工作或者正常功能、用来承载基本电力电源的导体或电缆上的端口。

* 1. EUT测量参考点(EUT test reference point)

EUT通常由一个或多个装置或系统组成，将EUT各部分外围连成一周，作为确定测量距离的参考点。在某些产品标准中，将商业园区或工业园区的外境或边界作为参考点。

* 1. 弱电设备（low voltage equipment）

煤矿安全监控系统、人员定位系统、通信系统等弱电系统中的30V以下直流供电设备。

1. 现场测试一般要求
   1. 测试仪器安全要求

所有现场测试仪器应符合GB/T 3836系列标准、GB/T 6113.101和GB/T 6113.104的要求。

基于安全考虑，煤矿井下对于不同设备的配接有严格要求。在进行现场电磁骚扰测量时，首选非接触测量方式；若确需对弱电设备进行接触测量时，EUT应选择本安型设备，且测量接线须符合煤矿安全规程要求。

* 1. 测试人员基本要求

由于现场测试是非标准化的，有可能由于测试物理位置和被测产品操作相关的需求，无法按照预期的测试计划和测试方法进行测量，需要现场做出调整，因此，要求开展测试的 EMC工程师对相关的测试方法以及方法背后隐含的原理有很高程度的理解。

这类知识通常需要一个EMC工程师具有5年以上的实验室环境条件下的测试经验，以及1年以上非标准或者开发环境下的测试经验。

* 1. 测试计划

为了保证顺利进行测试，测试场地、测试仪器及时有效，应当起草包含下述所有信息的测试计划：

a) 文件范围；

b) 术语、定义和参考文献；

c）测量设备的选取及描述；

d）人员及测试时间安排

e）测试地点及工况配合需求

f）通用测试策略；

g）发射测试；

h) 最差模式测试；

i）设备配置；

j）待测设备检测方法；

k) 待测设备功能性能；

l) EMC测试项目；

m）报告要求

* 1. 测试记录

现场测试时，应做好相应记录，准确列出：

a）被测设备边界；

b) 被测设备启动/关闭/模式切换流程；

c）所有射频源的位置；

d）测试地点；

e）被测物周围环境描述；

f）被测设备物理位置；

g）电源、控制和信号线缆；

h）对于每一项测试，应当给出：

——测量设备的位置；

——测量距离、高度、天线极化方向；

——被测设备工作模式；

I）以及任何与开展测试相关的任何其他信息，切记文件记录的目标是：如果将来有需要可以通过这些记录准确的再现测试。

* 1. 测试报告

测试报告最少应当包含下列信息。

a）简介：

—— 测试项目、依据的标准、开展测试的目的等；

—— 测试单位、人员信息；

—— 测试日期、地点;

—— 被测设备的唯一标识。

b）EMC测量设备明细：

—— 校准数据；

—— 现场设备验证结果（现场测量仪器可用性验证的细节描述，以及对测量仪器经验证后是否正常工作的判断）。

c）EMC测试人员明细：

d）测试地点：

—— 被测矿井的信息；

—— 被测设备的信息；

—— 测试的时间、场所；

—— 测试系统、仪器、装置、连接图；

—— 测试设置信息；

—— 计划图；

—— 天线位置；

—— 金属结构；

—— 操作人员位置；

e）测试方法：

—— 对于每一项测试都能提供充分的信息以保证测试能被重复；

f）测试结果：

—— 测量数据；

—— 被测设备工作模式；

—— 如何由原始数据得到测试结果，不确定度等；

—— 现场测试照片不限于被测设备、测量设备、测试布置照片等；

—— 结论。

1. 辐射发射的现场测量方法
   1. 概述

进行现场测量可能是出于两种原因：为了调查特定场地的干扰问题，了解现场电磁环境状况，或是为了评估相关技术要求的符合性。实际测量时需要考虑的某些状况可能会有所不同。

当实际已出现被干扰情况，且当骚扰是由被测设备产生时，可直接靠近被干扰设备测量骚扰场强。

辐射发射测量在天线与参考点之间相距特定距离(参考距离)下进行，应使用直线距离进行测量。若因现场条件(包括安全原因)的限制不能实施时，测量可在不同的距离下进行。当对干扰进行调查时，大多数场合下参考距离并非是最适用的，使用能够反映干扰状况的测量距离可能会更为合适。

注1：例如，若放置在距离潜在干扰源约10 m远的传感器受到了干扰，调查的第一步可在传感器的安装位置进行测量，并估计被测场强的大小；随后，可对潜在干扰源的辐射发射进行测量，以对干扰状况做进一步的评估和判定。

* 1. 环境噪声

建议在正式测量前，将EUT关掉来测量环境噪声。在EUT不能关掉的情况下，可以使用近场探头在距离EUT不同的位置测量，来确认骚扰信号的来源，如果距离EUT越近场强越大，则判断为EUT自身的发射，同时，将该场强的频点与EUT关键频点比较进一步确认。也可以在EUT不同的方向测量来确定最大值和最小值。若EUT所在点附近10m内有U型封闭空间，可在拐角遮挡处测量作为环境噪声参考。

* 1. 天线

不同频段的测试，应使用GB/T 6113.104要求的测量天线。

要在垂直极化和水平极化方向都进行测量。

频率低于30MHz，环形天线的高度要求1m(参考地面与天线最低的部分的距离），测量磁场强度。

1m距离测量时，应使用1m法天线系数，其天线系数测量方法见附录A。

注1：附录A中的部分内容在GB/T 44119-2024给出。

* 1. 测量参考点选择

可在EUT不同的工作模式下进行测量，重点关注EUT最大发射模式测量。

如果测量现场无法满足EUT最大功率最大发射测试模式，则测量功率为30%、40%、50%、60%等模式下的发射值，并用曲线拟合的方法讲估EUT最大功来时的发射值。

测量位置、测量点数量需要根据EUT物理尺寸和现场条件决定，应选择正交的四个方向上八分位所有可测点进行测量，现场允许的条件下选择在各个点附近寻找到最大发射点。如图1所示，由于井下电气设备多设置于靠近巷道一侧墙壁，故实际测量点，只剩下三个方向及其分位点，测量距离1m，测量高度1.2或1.6m，视实际被测对象确定。

图表

描述已自动生成

1. RE现场测试点的选择
   1. 测量步骤

在每一个天线位置处使用峰值检波器进行“快速测试”，以确认哪种工作模式(或者几种工作模式的合理组合）会产生最坏的辐射骚扰，并保证进行最终辐射骚扰测试的工作模式和天线位置与已经确认为产生最坏情形的模式和位置相同。

由于测量现场可能有很高的信号，为了保护测量仪器，建议在测量仪器前端配置10dB的衰减器。如果有高能量环境信号存在，需要特别小心确保测量的精度。如果使用10dB外接衰减器后仍然发生射频过载影响测量精度的情况，那么需要将整体或者部分被测信号衰减10dB以上(比如30dB)；如果没有发生过载，则测量信号将被衰减10dB。

在频率低于30MHz，使用环形天线进行测量时，应该沿着天线的垂直轴旋转天线，测得最大场强。

* 1. 线缆测量

线缆测量距离为0.2m。

1. 传导发射的现场测量方法
   1. 概述

进行现场测量可能是出于两种原因：为了调查特定场地的干扰问题，了解现场电磁环境状况，或是为了评估相关技术要求的符合性。实际测量时需要考虑的某些状况可能会有所不同。

对设备的任一电源和通信/信号端口，其传导发射的现场测量方法建议如下：

现场传导发射试验应在如下描述的测量点进行，但不包括例如设备内部电源、内部通信端口。

设备及其所在区域一同被视为受试设备(EUT)。由于场地特性对测量有影响，得到的发射测试结果仅适用于该场地。

在9 kHz～30 MHz频率范围内，电源线的传导发射可在发射源的耦合点处或靠近耦合点处测量。

* 1. 通用要求

进行传导骚扰测量时，受试设备应该工作在产生最大发射的模式下。

EUT有EMC性能要求的每种类型的端口都应该被测量。设备的内部端口，如内部电源、内部信号不需要进行测试。

若进行弱电设备接收到的干扰信号时，可选择本安设备内部端口线缆进行测量，如传感器电源线和和信号线。

对于每一被测端口，可以使用峰值检波器进行“快速扫描”以确定何种模式下会产生最大的传导发射。并在该模式下进行最终的传导骚扰测试。

现场测量结果受如下条件的影响，因此其结果是独一无二的，不能用于型式试验：

——给定安装下的地平面。不能改变具体安装环境下现有的地平面，有可能影响系统性能。尤其是不能使用人工电源网络；

——电源线的RF特征和负载条件；

——周围的RF环境；

——探头的输入阻抗和可能的对地连接。

由于测量现场可能有很高的信号，为了保测量仪器，建议在测量仪器前端配置10dB的衰减器。如果有高能量环境信号存在，需要特别小心确保测量的精度。如果使用10dB 外接衰减器后仍然发生射频过载影响测量精度，那么需要将整体或者部分的被测信号衰减10dB 以上(比如30dB)。如果没有发生过载，则测量信号将被衰减10dB。

* 1. 测量参考点的选择

现场环境下，骚扰电压的测量在区域的边界，或在受扰设备区域内部的几个点进行。电源或其他供电线缆的测量参考点，通常在靠近设备电源出口处。

电流探头测量屏蔽线缆的共模骚扰电流时，测量参考点通常在距离端口和接地点＞1/10波长的点。

* 1. 测量步骤

电源线和信号线均可以使用电流探头来进行传导骚扰测量。

屏被线且屏被层双端接地，用电流探头测量共模骚扰电流。

非屏蔽线和屏蔽层（包含电源箱、信号线、控制线、负载线等）在离开边界时没有接地的线缆，现场不允许切断、去连接线缆，不允许探头进行金属接触，用电流探头来测量传导骚扰电流。

电流探头应该放在所选择的测量参考点，见6.3。当做不到时，探头要尽量接近参考点。

必须特别注意以下方面：

电源线和通信线应在运行状态下进行测量。现场测量必须考虑以下要点：

——电流探头应符合GB/T 3836.4，测量依据GB/T 6113.102;

——不能切断或断开电缆线连接；

——不允许与电流探头有金属接触。

附录A

（规范性）

**1m天线系数测量方法**

A.1 1m增益

A.1.1 概述

由于天线要用于1m距离辐射骚扰测量，因此需要1 m增益。本附录中的增益测量方法不能提供真实的远场自由空间天线增益，因为远场自由空间天线增益的测量需要天线之间足够的远场间距，对于线天线为一个波长 (λ) ，对于喇叭天线为2*D*2/λ，其中*D*为辐射口面的最大尺寸。本文件规定的程序仅用于确定1m增益。

A.1.2 天线间距

在天线间距为1m时使用适当的方法测量1 m增益。这等于EMC符合性测量中天线与受试设备（EUT）之间的距离。某些天线有一个“电”中心，用作理论计算和天线位置的确定，例如喇叭天线。对于未定义电中心，或电中心作为频率函数的LPDA天线，使用“最近”点方法。

A.1.3 必要的测量次数

应在足够的频率数量上进行测量，以描述天线规定工作带宽内的1 m增益。应在A.4.2.2 g) 中规定的频率测量1 m增益。1 m增益特性中的任何异常都可通过一对天线之间的插入损耗进行扫频测量来识别：在存在尖的谐振的情况下，应选择其他测量频率，以确保得到谐振区的增益/天线系数。

A.1.4两相同天线法增益推导

该方法使用两副相同的天线，天线轴对齐且极化匹配。接收的功率见式（A.1）。

**…………………………………………………（A.1）

式中：

*G*T、*G*R ——发射天线和接收天线的数值功率增益；

*P*R ——接收功率，单位为瓦特（W）；

*P*T ——发射功率，单位为瓦特（W）；

*r* ——天线之间的距离，单位为米（m）；

λ ——波长，单位为米（m）。

如果*G*T=*G*R，则得到式（A.2）。

**…………………………………………………（A.2）

如果接收系统和发射系统都匹配 (即为50 Ω)，则可用电压测量代替功率测量，得到式（A.3）：

**…………………………………………………（A.3）

式中：

*U*R ——接收天线端口电压，单位为伏特（V）；

*U*T ——发射天线端口电压，单位为伏特（V）。

*G*为数值功率增益，其是由两次电压测量确定的，从而形成一个无量纲的比值。

A.2 确定天线系数

A.2.1 天线系数 *AF*

1m距离测量的*AF*由式 （A.4）计算，其中*G*由A.1.4中的1 m间距确定。

**…………………………………………………（A.4）

A.2.2 计算

天线系数*AF*由式（A.4）使用*G*计算得到。为了简化计算，可使用对数形式。

当1 m增益*G*为数值时，*AF*（单位：dB/m）可通过式（A.5）得到：

**…………………………………………（A.5）

式中：

λ ——波长，单位为米（m）。

当1 m增益*G*以分贝为单位时，*AF* （单位：dB/m）可通过式（A.6）得到：

**…………………………………………………（A.6）

示例：在200 MHz时，1 m增益为10 dB。20 lg (9.73/λ) = 16 dB/m，因此，*AF*= 16-10 = 6 dB/m。

A.3 天线系数的使用

将适当的天线系数以及电缆损耗因子加到测量接收机输入端的电压（以1 µV为基准的分贝值）上以得到场强（以1 µV/m为基准的分贝值）。

A.4 1m增益测量程序

A.4.1 两相同天线法

A.4.1.1 测量设备

需要的测量设备如下：

a)具有50 Ω输出阻抗的信号发生器，能够在天线类型规定的频率范围内产生试验电平；

b)两个6 dB、50 Ω的衰减器；

c)在天线类型规定频率范围内调谐的测量接收机（或频谱分析仪）。测量接收机输入阻抗应为50 Ω，电压驻波比（VSWR）≤1.25。可在测量接收机输入端使用隔离衰减器以实现VSWR为1.25；

d)特性阻抗为50 Ω的同轴电缆和合适的连接器，用于与天线、6 dB衰减器、信号发生器和测量接收机匹配连接；

e)用于连接两根同轴电缆的适配器；

f)或者可使用网络分析仪，应使用匹配衰减器 (6 dB)，在与天线的匹配端口上提供的VSWR≤2。

测量布置如图1所示。测量场地所在的区域应无障碍物和反射。测量场地应具有接地平面以模拟开阔场地。

如果与图1室外测量场地的参考测量布置相比，测量结果的相关性小于1 dB，则可变化图1所示的测量布置或使用电波暗室。

天线中心的3 m高度定义为初始天线测量高度。对于偶极子类天线，天线系数会随极化变化；在测量过程中宜考虑两种极化，除非另有规定，否则这两种天线系数均应提供。对于口面型（喇叭）天线，如果在3 m高度进行测量，则使用本文件方法得出的两种极化天线系数之间的变化宜小于1 dB。

6dB衰减器

6dB衰减器

发射天线

接收天线

*h*=3m

*r*=1m

信号发生器

测量接收机

接地平面

标引序号说明：

*r*——天线之间的距离，单位为米（m）；

*h*——天线距离接地平面的高度，单位为米（m）。

图1 使用两相同天线确定1m增益的测量布置