

地震低频电磁扰动观测仪 校准规范 (实验报告)

归口单位：全国地震专用计量测试技术委员会

主要起草单位：中国地震局地震预测研究所

参加起草单位：江苏省地震局

甘肃省地震局

上海市地震局

目 录

1、实验目的	1
2、实验方法	2
2.1 校准项目	2
2.2 试验条件和设备	2
3、校准实验	4
3.1 电压测量误差校准	4
3.1.1 直流电压测量误差测试记录	4
3.1.2 直流电压测量误差测试结果	6
3.1.3 交流电压测量误差测试记录	7
3.1.4 交流电压测量误差测试结果	7
3.2 电压分辨力校准	8
3.2.1 直流电压分辨力测试记录	8
3.2.2 直流电压分辨力测试结果	10
3.2.3 交流电压分辨力测试结果	10
3.3 磁场灵敏度校准	11
3.3.1 测试记录	11
3.3.2 测试结果	16
3.4 磁场噪声校准	17
3.4.1 测试记录	17
3.4.2 测试结果	20
4、实验结论	20

1、实验目的

在研究过程中，开展实验验证工作。选取目前在地震行业观测应用的 DCRD-I、DCRD-II 型电磁扰动观测仪作为电压测量误差及电压分辨力的校准对象。选取应急管理部国家自然灾害防治研究院研制的 EMDS-1 型感应式磁传感器、中科院空天院研制的 CAS-10M 型感应式磁传感器以及中船重工七二二研究所研制的 CMS-07 型感应式磁传感器作为磁场灵敏度与磁场噪声的校准对象。（详见表 1）。

按照《地震电磁扰动观测仪校准规范》（征求意见稿）规定的校准项目和校准方法，在应急管理部国家自然灾害防治研究院电学检测室和中国地震局地震预测研究所地电仪器检测实验室分别对两种电磁扰动观测仪器的数据采集器进行了电压测量误差和电压测量分辨力的校准实验，在江苏省地震局周山零磁空间实验室与宜昌国防弱磁一级计量站分别对三种感应式磁传感器进行了磁场灵敏度和磁场噪声的校准，验证该校准规范的正确性、可行性和可操作性。

表 1 校准对象信息

校准对象	型号	生产厂家	主要技术指标
电磁扰动观测仪 数据采集器	DCRD-I	原中国地震局地壳应 力研究所	电 压 测 量 范 围： （ -1000.00 ~ 1000.00）mV 电压分辨力：10 μV 电压测量误差：±（2% 读数+0.1%满度）
	DCRD-II	中国地震局地震预测 研究所	电 压 测 量 范 围： （ -1200.00 ~ 1200.00）mV 电压分辨力：10 μV 电压测量误差：± （0.5%读数+0.1%满 度）
感应式磁传感器	EMDS-1/MD2	应急管理部国家自然 灾害防治研究院	频率范围： 0.1Hz~20Hz； 灵敏度：≥2mV/nT

			噪声： $\leq 5\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ (0.5Hz~20Hz)
	CAS-10M	中科院空天院	频率范围： 1mHz~1kHz 灵敏度： $\geq 2\text{mV/nT}$ 噪声： $\leq 2\text{pT/Hz}^{1/2}@0.1\text{Hz}$; $\leq 0.5\text{pT/Hz}^{1/2}@1\text{Hz}$; $\leq 0.1\text{pT/Hz}^{1/2}@10\text{Hz}$
	CMS-07	中船重工第 722 研究所	频率范围：10 μ Hz~1kHz 灵敏度：100mV/nT 噪声： $\leq 20\text{pT/Hz}^{1/2}@0.01\text{Hz}$; $\leq 0.2\text{pT/Hz}^{1/2}@1\text{Hz}$; $\leq 2\text{fT/Hz}^{1/2}@1\text{kHz}$

2、实验方法

2.1 校准项目

采用校准规范中的第 7.2.2、7.2.3 的校准方法对电磁扰动观测仪数据采集器的电压测量误差和电压分辨力进行校准测试。采用校准规范中的第 7.2.4、7.2.5 的校准方法对感应式传感器的磁场灵敏度和磁场噪声进行校准测试。

2.2 试验条件和设备

表 2 试验条件和设备

序号	校准地点	试验条件	主要设备	被测设备型号和编号	试验项目
1	应急管理部国家自然灾害防	温度： 22.0℃ 湿度： 35%	多功能校准源 DCV： $\pm(10\text{mV}\sim 2\text{V})$ 相对不确定度(k=2)： $\pm 100\text{mV}$, 3.5ppm; $\pm 1000\text{mV}$, 1.8ppm	DCRD-I 电磁扰动观测仪 (编号 SN201508) DCRD-II 电磁扰动	电压测量误差, 电压分

	治研究院电学检测室		证书编号: DCsy2024-01142/中国计量科学院	观测仪 ((编号 X351I0CD2319))	辨力
2	中国地震局地震预测研究所地电仪器检测室	温度: 24.0℃ 湿度: 40%	多功能标准源 DCV: $\pm(10\text{mV}\sim 2\text{V})$ 不确定度: $\pm 100\text{mV}, 0.7\mu\text{V}; \pm 1000\text{mV}, 1.5\mu\text{V}$ 证书编号: DD25-0109/北京东方计量测量研究所	DCRD -I 电磁扰动观测仪 (编号 SN201508) DCRD -II 电磁扰动观测仪 ((编号 X351I0CD2319))	电压测量误差, 电压分辨力, 频率范围检查
3	江苏省地震局周山零磁空间	温度: 22.0℃ 湿度: 35%	电流源: 0-2mA 电流误差为 $\pm(0.05\%\text{读数}+1\mu\text{A})$ 。 磁屏蔽空间, 噪声指标: $5\text{pT}/\text{Hz}^{1/2}@0.1\text{Hz};$ $3\text{pT}/\text{Hz}^{1/2}@1\text{Hz};$ $0.2\text{pT}/\text{Hz}^{1/2}@5\text{Hz};$ $0.09\text{pT}/\text{Hz}^{1/2}@10\text{Hz};$ $0.1\text{pT}/\text{Hz}^{1/2}@20\text{Hz}$ 标定线圈: 标定常数取为 125nT/mA, 0.01Hz~100Hz 频带范围内的变化区间为 $\pm 0.1\text{nT}/\text{mA};$ 动态信号分析仪: 输入信号范围 $\pm 10\text{V}$, 最大测量允许误差 $\pm 0.21\%$, 证书编号: LSvm2024-01138。 交流电压表: 1Hz~10MHz, 100mV~10V 档, 最大测量误差为 $\pm(0.007\%\text{读数}+0.004\%\text{量程})$ 。	感应式磁传感器 EMDS-I (2022012)、 CAS-10M (M353)、 CMS-07 (1003)	磁场灵敏度、 磁场噪声
4	国防弱磁一级计量站	温度: 18~20℃ 湿度: 40%	动态信号分析仪: 输入信号范围 $\pm 10\text{V}$, 最大测量允许误差不超过 $\pm 5\%$, 证书编号: GFJGJL1001-250706940 磁屏蔽空间噪声指标: $\leq 1\text{pT}/\text{Hz}^{1/2}@0.1\text{Hz}, 3\text{fT}/\text{Hz}^{1/2}@20\text{Hz}$	感应式磁传感器 EMDS-I (2022012) CAS-10M (M353) 、 CMS-07 (1003)	磁场灵敏度、 磁场噪声

3、校准实验

3.1 电压测量误差校准

按照地震电磁扰动观测仪校准规范（征求意见稿）中的 7.2.2 节方法对电压测量误差进行检测，测量标准采用多功能校准源，校准点选择直流±100mV、±1000mV 共 4 个校准点，校准通道选择第 1 通道。

3.1.1 直流电压测量误差测试记录

应急管理部国家自然灾害防治研究院测试结果如表 1 所示。

表 1 DCRD-I 与 DCRD-II 电磁扰动观测仪通道 1 电压测试记录（灾研院）

次数	DCRD-I				DCRD-II			
	-1000/mV	-100/mV	100/mV	1000/mV	-1000/mV	-100/mV	100/mV	1000/mV
1	-1000.032	-100.01	99.989	1000.008	-1000.028	-100.01	99.992	999.999
2	-1000.035	-100.015	99.988	1000.009	-1000.029	-100.011	99.993	999.999
3	-1000.036	-100.017	99.987	1000.01	-1000.030	-100.01	99.994	999.999
4	-1000.034	-100.019	99.986	1000.012	-1000.031	-100.011	99.995	1000.000
5	-1000.033	-100.021	99.989	1000.015	-1000.030	-100.011	99.994	1000.001
6	-1000.035	-100.022	99.981	1000.018	-1000.032	-100.012	99.994	1000.001
7	-1000.037	-100.023	99.984	1000.014	-1000.031	-100.011	99.993	1000.001
8	-1000.042	-100.025	99.988	1000.022	-1000.030	-100.01	99.994	1000.002
9	-1000.045	-100.028	99.988	1000.023	-1000.031	-100.011	99.993	1000.002
10	-1000.047	-100.026	99.99	1000.021	-1000.030	-100.011	99.994	1000.002
均值	-1000.040	-100.030	99.987	1000.015	-1000.030	-100.011	99.994	1000.010
测量不确定度(mV)	0.012	0.012	0.006	0.012	0.009	0.006	0.006	0.009

DCRD-I 电磁扰动观测仪单次测量时，由重复性测量在-1000mV、-100mV、100mV、1000mV 的实验标准方差分别为 5 μ V、6 μ V、3 μ V、5 μ V，根据多功能校准源手册，测量标准在 220mV 档最大误差为 7.5ppm+0.4 μ V，在 2.2V 档最大误差为 5ppm+0.7 μ V，故由测量标准测量不准在上述 4 点的不确定度分别为 3.3 μ V、0.66 μ V、0.66 μ V、3.29 μ V，由被测仪器分辨力引入的不确定度为 2.89 μ V，分辨力与重复性引入的不确定度取最大值，则合成标准不确定度 u_c 分别为： 6 μ V、6 μ V、3.1 μ V、6 μ V，故扩展不确定度 U 分别为： 12 μ V、12 μ V、6.2 μ V、12 μ V，而仪器在该 4 个点的最大允许误

差分别为：21mV、3mV、3mV、21mV。

DCRD-II 电磁扰动观测仪单次测量时，由重复性测量在-1000mV、-100mV、100mV、1000mV 的实验标准方差分别为 $1\mu\text{V}$ 、 $1\mu\text{V}$ 、 $1\mu\text{V}$ 、 $1\mu\text{V}$ ，根据手册，测量标准在 220mV 档最大误差为 $7.5\text{ppm}+0.4\mu\text{V}$ ，在 2.2V 档最大误差为 $5\text{ppm}+0.7\mu\text{V}$ ，故由测量标准测量不准在上述 4 点的不确定度分别为 $3.3\mu\text{V}$ 、 $0.66\mu\text{V}$ 、 $0.66\mu\text{V}$ 、 $3.29\mu\text{V}$ ，由被测仪器分辨力引入的不确定度为 $2.89\mu\text{V}$ ，分辨力与重复性引入的不确定度取最大值，则合成标准不确定度 u_c 分别为： $4.4\mu\text{V}$ 、 $2.96\mu\text{V}$ 、 $2.96\mu\text{V}$ 、 $4.4\mu\text{V}$ ，故扩展不确定度 U 分别为： $8.8\mu\text{V}$ 、 $5.92\mu\text{V}$ 、 $5.92\mu\text{V}$ 、 $8.8\mu\text{V}$ ，而仪器在该 4 个点的最大允许误差分别为： 11mV 、 2mV 、 2mV 、 11mV 。

中国地震局地震预测研究所地电仪器检测室测试结果见表 2。

表 2 DCRD-I 与 DCRD-II 电磁扰动观测仪通道 1 电压测试记录（预测所）

次数	DCRD-I				DCRD-II			
	-1000/mV	-100/mV	100/mV	1000/mV	-1000/mV	-100/mV	100/mV	1000/mV
1	-1000.028	-100.018	99.999	1000.012	-1000.043	-100.005	99.998	1000.01
2	-1000.026	-100.019	99.997	1000.014	-1000.045	-100.004	99.998	1000.012
3	-1000.024	-100.015	99.994	1000.016	-1000.043	-100.004	99.997	1000.013
4	-1000.028	-100.013	99.996	1000.012	-1000.041	-100.006	99.998	1000.015
5	-1000.029	-100.011	99.994	1000.019	-1000.048	-100.007	99.996	1000.018
6	-1000.03	-100.013	99.997	1000.013	-1000.046	-100.008	99.997	1000.019
7	-1000.032	-100.014	99.994	1000.015	-1000.044	-100.009	99.997	1000.017
8	-1000.033	-100.012	99.993	1000.018	-1000.048	-100.006	99.998	1000.018
9	-1000.035	-100.011	99.994	1000.023	-1000.048	-100.007	99.997	1000.019
10	-1000.038	-100.012	99.993	1000.024	-1000.043	-100.008	99.998	1000.017
均值	-1000.030	-100.014	99.995	1000.017	-1000.040	-100.006	99.997	1000.016
测量不确定度 (mV)	0.010	0.006	0.006	0.010	0.009	0.006	0.006	0.009

DCRD-I 电磁扰动观测仪单次测量时，由重复性测量在-1000mV、-100mV、100mV、1000mV 的实验标准方差分别为 $4\mu\text{V}$ 、 $3\mu\text{V}$ 、 $2\mu\text{V}$ 、 $4\mu\text{V}$ ，根据手册，测量标准在 220mV 档最大误差为 $7.5\text{ppm}+0.4\mu\text{V}$ ，在 2.2V 档最大误差为 $5\text{ppm}+0.7\mu\text{V}$ ，故由测量标准测量不准在上述 4 点的不确定度分别为 $3.3\mu\text{V}$ 、 $0.64\mu\text{V}$ 、 $0.64\mu\text{V}$ 、 $3.3\mu\text{V}$ ，由被测仪器分辨力引入的不确定度为 $2.89\mu\text{V}$ ，分辨力与重复性引入的不确定度取最大值，则合成标准不确定度 u_c 分别为： $5.2\mu\text{V}$ 、 $3.1\mu\text{V}$ 、 $3\mu\text{V}$ 、 $5.2\mu\text{V}$ ，故扩展不确定度 U 分别

为：10.4 μ V、6.2 μ V、6 μ V、10.4 μ V，而仪器在该4个点的最大允许误差分别为：21mV、3mV、3mV、21mV。

DCRD-II 电磁扰动观测仪单次测量时，由重复性测量在-1000mV、-100mV、100mV、1000mV 的实验标准方差分别为 3 μ V、2 μ V、1 μ V、3 μ V，根据手册，测量标准在 220mV 档最大误差为 7.5ppm+0.4 μ V，在 2.2V 档最大误差为 5ppm+0.7 μ V，故由测量标准测量不准在上述4点的不确定度分别为 3.3 μ V、0.66 μ V、0.66 μ V、3.3 μ V，由被测仪器分辨力引入的不确定度为 2.89 μ V，分辨力与重复性引入的不确定度取最大值，则合成标准不确定度 u_c 分别为：4.5 μ V、3 μ V、3 μ V、4.5 μ V，故扩展不确定度 U 分别为：9 μ V、6 μ V、6 μ V、9 μ V，而仪器在该4个点的最大允许误差分别为：11mV、2mV、2mV、11mV。

3.1.2 直流电压测量误差测试结果

测试比对结果见表3。

表3 DCRD-I 与 DCRD-II 电压测量误差校准结果对比表

仪器型号	测试场地	标准值/mV	实测值/mV	测量误差/mV	测量不确定度 U ($k=2$) / μ V
DCRD-I	灾研院	-1000	-1000.040	0.040	12
		-100	-100.030	0.030	12
		100	99.987	0.013	6
		1000	1000.015	0.015	12
	预测所	-1000	-1000.030	0.030	10
		-100	-100.014	0.014	6
		100	99.995	0.005	6
		1000	1000.017	0.017	10
DCRD-II	灾研院	-1000	-1000.030	0.030	9
		-100	-100.011	0.011	6
		100	99.994	0.006	6
		1000	1000.010	0.010	9
	预测所	-1000	-1000.040	0.040	9
		-100	-100.006	0.006	6
		100	99.997	0.003	6
		1000	1000.016	0.016	9

3.1.3 交流电压测量误差测试记录

交流电压测试试验以 DCRD-II 电磁扰动观测仪在中国地震局地震预测研究所的测试情况为例，测试通道第 1 通道，测试频率为 10Hz，电压输出幅度分别为 100mV_{rms}、600mV_{rms} 与 800mV_{rms}。测试数据见表 4。

表 4 10Hz 电压最大测量误差测试记录表

次数	100/mV	600/mV	800/mV
1	99.436	596.448	795.136
2	99.445	596.567	795.227
3	99.412	596.333	795.466
4	99.459	596.447	795.195
5	99.427	596.689	795.220
6	99.419	596.229	795.423
7	99.441	596.655	795.062
8	99.437	596.421	795.295
9	99.424	596.322	795.411
10	99.455	596.615	795.161
均值	99.436	596.473	795.260
测量不确定度 (mV)	0.034	0.326	0.332

因重复性测量引入的单次不确定度分别为：0.015mV、0.155mV、0.152mV，由被测仪器分辨力引入的不确定度为 2.89 μ V，根据测量标准的使用手册，在 2.2V 档，10Hz~20Hz 频率范围，输出电压的不确定度为 200ppm+40 μ V@($k=2$)，故在 100mV，600mV 与 800mV 的标准不确定度分别为 0.030mV，0.080mV 与 0.100mV，则合成标准不确定度分别为 0.034mV，0.174mV 与 0.182mV，扩展不确定度 ($k=2$) 分别为：0.068mV，0.348mV 与 0.364mV。

3.1.4 交流电压测量误差测试结果

交流 10Hz 在 100mV_{rms}、600mV_{rms} 与 800mV_{rms} 处的测量误差分别为 0.564 ± 0.068 mV， 3.527 ± 0.348 mV 与 4.74 ± 0.364 mV，仪器的要求最大误差一般不超过 $\pm (0.5\% \text{ 读数} + 0.1\% \text{ 满度值})$ 是相对于最大值而言，DCRD-II 的满度值为 1.2V，故在

这几个电压点的最大允许误差分别为 $\pm 1.8\text{mV}$ ， $\pm 5.442\text{mV}$ 与 $\pm 6.856\text{mV}$ ，由此可见，交流 10Hz 的电压最大误差测试方法可以满足测试要求。

3.2 电压分辨力校准

按照地震电磁扰动观测仪校准规范（征求意见稿）中的 7.2.3 节方法对电压分辨力进行校准，校准点选择直流 100mV，分辨力 $\delta = 10\mu\text{V}$ ，校准通道选择第 1 通道。

3.2.1 直流电压分辨力测试记录

灾研院的测试结果见表 5 所示，预测所的测试结果见表 6 所示。

表 5 DCRD-I 与 DCRD-II 电磁扰动观测仪通道 1 电压分辨力测试记录（灾研院）

次数	DCRD-I		DCRD-II	
	100/mV	100+ δ /mV	100/mV	100+ δ /mV
1	99.989	99.999	99.993	100.002
2	99.988	99.999	99.994	100.001
3	99.986	99.997	99.992	100.003
4	99.985	99.997	99.994	100.004
5	99.987	99.996	99.993	100.003
6	99.988	99.999	99.994	100.003
7	99.984	99.993	99.995	100.003
8	99.986	99.997	99.994	100.003
9	99.987	99.998	99.994	100.003
10	99.986	99.997	99.994	100.004
平均值	99.987	99.997	99.994	100.003
$\delta'/\mu\text{V}$	10		9	
实测增量值测量 不确定度/ μV	4.6		2.6	
a_j	1		0.9	

DCRD-I 电磁扰动观测仪对基值 100mV 由重复性测量引入的标准不确定度为 $1.5\mu\text{V}$ ，由多功能校准源在 100mV 点引入的扩展不确定度为 3.5ppm 即标准不确定度为 $0.17\mu\text{V}$ ，故基值测量引入的合成标准不确定度为 $1.5\mu\text{V}$ ；对增值 100+ δ mV 由重复性测量引入的标准不确定度为 $1.8\mu\text{V}$ ，由多功能校准源在 100mV 点引入的扩展不确定度为 3.5ppm 即标准不确定度为 $0.17\mu\text{V}$ ，故增量测量引入的合成标准不确定度为 $1.8\mu\text{V}$ ；两次测量不确定度分量互不相关，故分辨力测量的合成标准不确定度 u_c 为

2.3 μV , 扩展不确定度 $U=4.6\mu\text{V}$ ($k=2$)。

DCRD-II 电磁扰动观测仪对基值 100mV 由重复性测量引入的标准不确定度为 0.8 μV , 根据计量证书, 由多功能校准源在 100mV 点引入的扩展不确定度为 3.5ppm 即标准不确定度为 0.17 μV , 故基值测量引入的合成标准不确定度为 0.82 μV ; 对增值 100+ δ mV 由重复性测量引入的标准不确定度为 0.9 μV , 由多功能校准源在 100mV 点引入的扩展不确定度为 3.5ppm 即标准不确定度为 0.18 μV , 故增量测量引入的合成标准不确定度为 0.92 μV ; 两次测量不确定度分量互不相关, 故分辨力测量的合成标准不确定度 u_c 为 1.3 μV , 扩展不确定度 $U=2.6\mu\text{V}$ ($k=2$)。

表 6 DCRD-I 与 DCRD-II 电磁扰动观测仪通道 1 电压分辨力测试记录 (预测所)

次数	DCRD-I		DCRD-II	
	100/mV	100+ δ /mV	100/mV	100+ δ /mV
1	99.99	100.002	99.998	100.008
2	99.991	100.001	99.997	100.009
3	99.992	100.002	99.998	100.009
4	99.993	100.002	99.999	100.009
5	99.993	100.003	99.998	100.01
6	99.993	100.002	99.999	100.011
7	99.992	100.003	99.998	100.011
8	99.993	100.003	99.998	100.012
9	99.992	100.003	99.998	100.012
10	99.991	100.002	99.998	100.012
平均值	99.992	100.002	99.998	100.010
$\delta'/\mu\text{V}$	10		12	
实测增量值测量 不确定度/ μV	2.8		3.4	
a_j	1		1.2	

DCRD-I 电磁扰动观测仪对基值 100mV 由重复性测量引入的标准不确定度为 1.1 μV , 根据计量证书, 由多功能校准源在 100mV 点引入的扩展不确定度为 0.7 μV 即标准不确定度为 0.35 μV , 故基值测量引入的合成标准不确定度为 1.15 μV ; 对增值 100+ δ mV 由重复性测量引入的标准不确定度为 0.7 μV , 由多功能校准源在 100mV 点引入的标准不确定度为 0.35 μV , 故增量测量引入的合成标准不确定度为 0.78 μV ; 两次测量不确定度分量互不相关, 故分辨力测量的合成标准不确定度 u_c 为 1.4 μV 。扩展不确定度 $U=2.8\mu\text{V}$ ($k=2$)。

DCRD-II 电磁扰动观测仪对基值 100mV 由重复性测量引入的标准不确定度为 0.6 μV , 根据计量证书, 由多功能校准源在 100mV 点引入的扩展不确定度为 0.7 μV

即标准不确定度为 $0.35\mu\text{V}$ ，故基值测量引入的合成标准不确定度为 $0.69\mu\text{V}$ ；对增值 $100+\delta\text{mV}$ 由重复性测量引入的标准不确定度为 $1.5\mu\text{V}$ ，由多功能校准源在 100mV 点引入的标准不确定度为 $0.35\mu\text{V}$ ，故增量测量引入的合成标准不确定度为 $1.54\mu\text{V}$ ；两次测量不确定度分量互不相关，故分辨力测量的合成标准不确定度 u_c 为 $1.69\mu\text{V}$ 。扩展不确定度 $U=3.4\mu\text{V}$ ($k=2$)。

3.2.2 直流电压分辨力测试结果

测试对比结果见表 7。

表 7 DCRD-I 与 DCRD-II 电压分辨力校准对比结果表

型号	测试地点	校准点电压值/mV	标准增量值/mV	实测增量值/mV	增量比值	测量不确定度 U ($k=2$)
DCRD-I	灾研院	100	0.010	0.010	1	4.6
	预测所			0.010	1	2.8
DCRD-II	灾研院			0.009	0.9	2.6
	预测所			0.012	1.2	3.4

3.2.3 交流电压分辨力测试结果

测试交流信号选择 10Hz ，测试电压选择 $100\text{mV}_{\text{rms}}$ ，测试对象为 DCRD-II 电磁扰动观测仪的第 1 通道，测试地点在中国地震局地震预测研究所为例，取不少于 100 个周期计算一次信号幅度，连续取 10 个测量值，测试记录见表 8。

表 8 DCRD-II 10Hz 信号分辨力测试记录表

次数	100/mV	100+ δ /mV
1	99.436	99.429
2	99.445	99.467
3	99.412	99.440
4	99.459	99.432
5	99.427	99.457
6	99.419	99.450
7	99.441	99.429
8	99.437	99.476
9	99.424	99.432
10	99.455	99.431
平均值	99.436	99.444
$\delta'/\mu\text{V}$	8	

实测增量值测量不确定度/ μV	± 48
a_j	0.8

采用 10 次的均值进行分辨力的测试，基值由重复性测量引入的不确定性为 $0.015/\sqrt{10}=0.0047\text{mV}$ ，多功能校准源在 100mV 处的扩展不确定度为 $200\text{ppm}+12\mu\text{V}@220\text{mV}(10\text{Hz}\sim 20\text{Hz})(k=2)$ ，故由多功能校准源误差引入的标准不确定度为 0.016mV ，则基值测量的合成标准不确定度为 0.017mV ；增量测试 10 次由重复性引入的不确定性为 $0.017/\sqrt{10}=0.005\text{mV}$ ，多功能校准源引入的不确定度为 0.016mV ，同样，增量测试的合成标准不确定度为 0.017mV ；因两次测量所引入的测量不确定度互不相关，电压差值的合成标准不确定度为 0.024mV ，扩展不确定度为 $0.048\text{mV}@ (k=2)$ 。

3.3 磁场灵敏度校准

按照地震电磁扰动观测仪校准规范（征求意见稿）中的 7.2.4 节方法在两个实验室分别对三种感应式磁传感器器进行磁场灵敏度测试实验。

3.3.1 测试记录

宜昌国防科技弱磁一级计量站测试结果见表 9-表 14。

表 9 EMDS-1 型感应式磁传感器灵敏度测试原始记录表（宜昌）

次数	输出电压 U_x/mV			
	f_0/Hz	f_1/Hz	f_2/Hz	f_3/Hz
	0.1	1	10	20
1	883.212	1757.623	1860.663	1949.756
2	883.681	1757.667	1860.677	1949.884
3	883.781	1757.685	1860.689	1949.918
4	883.726	1757.695	1860.706	1949.957
5	883.808	1757.693	1860.745	1949.968
6	883.938	1757.947	1860.770	1949.936
7	883.927	1757.983	1860.781	1950.019
8	884.088	1758.033	1860.783	1950.009
9	884.185	1758.078	1860.850	1950.090
10	884.038	1758.080	1860.853	1950.212

电压平均值/mV	883.838	1757.848	1860.752	1949.975
----------	---------	----------	----------	----------

表 10 EMDS-1 型感应式磁传感器灵敏度测试表

频率 f/Hz	线圈常数 $K_B/(\text{nT}/\text{mA})$	电流 I_{rms}/mA	标准磁场 B_0/nT	输出电压 U_x/mV	灵敏度 $C/(\text{mV}/\text{nT})$	相对扩展不确 定度 $U_r, k=2$
0.1	19.2	4.854	93.2	883.838	9.48	5.78%
1		5.154	99	1757.848	17.76	5.78%
10		5.154	99	1860.752	18.80	5.78%
20		5.153	99	1949.975	19.70	5.78%

表 11 CAS-10M 型感应式磁传感器灵敏度测试原始记录表（宜昌）

次数	输出电压 U_x/mV			
	f_0/Hz	f_1/Hz	f_2/Hz	f_3/Hz
	0.1	1	10	20
1	2294.716	2242.431	2316.117	1984.902
2	2295.107	2242.450	2316.094	1985.709
3	2294.840	2242.449	2316.322	1986.025
4	2294.736	2242.418	2316.422	1986.192
5	2294.611	2242.457	2316.508	1986.329
6	2294.896	2242.449	2316.585	1986.430
7	2294.518	2242.506	2316.601	1986.535
8	2294.742	2242.448	2316.650	1986.603
9	2294.497	2242.485	2316.693	1986.707
10	2294.542	2242.466	2316.731	1986.784
电压平均值/mV	2294.721	2242.456	2316.472	1986.222

表 12 CAS-10M 型感应式磁传感器灵敏度测试表（宜昌）

频率 f/Hz	线圈常数 $K_B/(\text{nT}/\text{mA})$	电流 I_{rms}/mA	标准磁场 B_0/nT	输出电压 U_x/mV	灵敏度 $C/(\text{mV}/\text{nT})$	相对扩展不确 定度 $U_r, k=2$
0.1	19.2	1.95	37.5	2294.721	61.19	5.78%
1		1.88	36.2	2242.456	61.95	5.78%
10		2.07	39.82	2316.472	58.17	5.78%
20		2.07	39.82	1986.222	49.88	5.78%

表 13 CMS-07 型感应式磁传感器灵敏度测试原始记录表（宜昌）

次数	输出电压 U_x/mV			
	f_0/Hz	f_1/Hz	f_2/Hz	f_3/Hz
	0.1	1	10	20
1	3278.316	3572.026	3936.236	3936.172

2	3278.639	3572.056	3936.261	3936.113
3	3278.562	3572.065	3936.279	3936.162
4	3278.366	3572.047	3936.297	3936.141
5	3278.287	3572.073	3936.298	3936.129
6	3278.501	3572.075	3936.267	3936.131
7	3278.128	3572.111	3936.267	3936.130
8	3278.640	3572.157	3936.284	3936.139
9	3278.247	3572.146	3936.298	3936.136
10	3278.250	3572.118	3936.287	3936.134
电压平均值/mV	3278.394	3572.087	3936.277	3936.139

表 14 CMS-07 型感应式磁传感器灵敏度测试表（宜昌）

频率 f/Hz	线圈常数 $K_B/(\text{nT}/\text{mA})$	电流 I_{rms}/mA	标准磁场 B_0/nT	输出电压 U_x/mV	灵敏度 $C/(\text{mV}/\text{nT})$	相对扩展不确定度 $U_r, k=2$
0.1	19.2	1.95	37.5	3278.394	87.42	5.78%
1		1.89	36.2	3572.087	98.68	5.78%
10		2.07	39.8	3936.277	98.90	5.78%
20		2.07	39.8	3936.139	98.90	5.78%

宜昌测试过程中由于测量标准动态信号分析仪的测量误差为 5%，故磁场灵敏度电压测量不准引入的不确定度主要来自动态信息分析仪为 2.89%；由交变磁场复现系统引入的不确定度约为 0.08%，由磁轴对不齐引入的不确定度约为 0.005%，合成相对不确定度约为 2.89%，也即磁场灵敏度的不确定度主要由动态信号分析仪的测量误差引入，故其扩展相对不确定度为 5.78%。

在江苏省地震局周山零磁空间实验用到的测试标准包括磁场标定线圈、交流稳流源、动态信号分析仪以及交流电压表，其中 0.1Hz 的输出由动态信号仪获取，1Hz~20Hz 的输出由交流电压表输出示值获取，测试原始记录见表 15-表 20。

表 15 EMDS-1 型感应式磁传感器灵敏度测试原始记录表（周山）

次数	输出电压 U_x/mV			
	f_0/Hz	f_1/Hz	f_2/Hz	f_3/Hz
	0.1	1	10	20
1	768.509	1574.089	1655.407	1736.999
2	768.509	1574.218	1655.401	1736.976
3	769.216	1574.289	1655.454	1736.958
4	769.216	1574.234	1655.458	1736.902
5	769.216	1574.18	1655.424	1736.919

6	769.216	1574.154	1655.46	1736.907
7	769.216	1574.176	1655.474	1736.87
8	769.216	1574.162	1655.423	1736.909
9	769.216	1574.245	1655.421	1736.899
10	769.216	1574.15	1655.426	1736.904
电压平均值/mV	769.075	1574.19	1655.435	1736.924

表 16 EMDS-1 型感应式磁传感器灵敏度测试表（周山）

频率 f/Hz	线圈常数 $K_B/(\text{nT}/\text{mA})$	电流 I_{rms}/mA	标准磁场 B_0/nT	输出电压 U_x/mV	灵敏度 $C/(\text{mV}/\text{nT})$	相对扩展不确定度 $U_r, k=2$
0.1	125	0.707	88.375	769.075	8.7	1.88%
1				1574.19	17.81	1.86%
10				1655.435	18.73	1.86%
20				1736.924	19.65	1.86%

0.1Hz 的输出由动态信号分析仪获取，其最大测量误差为 0.21%，由此引入的相对不确定度为 0.12%，重复性测量引入的相对不确定度分别为 0.039%、0.0037%、0.0015%、0.0023%。

交流电压表在 1Hz~10MHz, 100mV~10V 档，最大测量误差为±（0.007%读数+0.004%量程），按均匀分布，在 1Hz、10Hz 与 20Hz 点由此引入的相对不确定度分别约为 0.02%、0.02%、0.02%，总之由电压测量不准引入的相对不确定度包括测量标准引入的不确定度以及重复性测量引入的不确定度，合成后分别为：0.13%、0.02%、0.02%、0.02%。

交变磁场复现系统引入的不确定性包括电流源的不确定度以及线圈常数的不确定度，电流源在 0~2mA 档电流误差为±（0.05%读数+1 μA ），由电流源引入的相对不确定度为 0.11%，线圈常数最大变化 2nT/mA，引入的相对不确定度约为 0.92%，相应地由交变磁场复现系统引入的相对不确定度约为 0.93%。

由磁轴对齐不准引入的相对不确定度为 0.005%。

总之，EMDS-1 磁传感器的磁场灵敏度测试的相对不确定度约为 0.94%、0.93%、0.93%与 0.93%，相对扩展不确定度（ $k=2$ ）分别为 1.88%、1.86%、1.86%与 1.86%。

表 17 CAS-10M 型感应式磁传感器灵敏度测试原始记录表（周山）

次数	输出电压 U_x/mV			
	f_0/Hz	f_1/Hz	f_2/Hz	f_3/Hz
	0.1	1	10	20

1	1583.68	1705.965	1583.369	1351.174
2	1569.54	1706.078	1583.402	1351.41
3	1576.61	1706.019	1583.417	1351.496
4	1583.68	1706.106	1583.446	1351.345
5	1562.47	1706.086	1583.441	1351.608
6	1569.54	1706.087	1583.438	1351.567
7	1576.61	1706.156	1583.321	1351.612
8	1583.68	1705.828	1583.541	1351.718
9	1562.47	1705.981	1583.86	1351.657
10	1590.75	1706.035	1583.856	1351.757
电压平均值/mV	1575.903	1706.034	1583.509	1351.534

表 18 CAS-10M 型感应式磁传感器灵敏度测试表（周山）

频率 f/Hz	线圈常数 $K_B/(\text{nT}/\text{mA})$	电流 I_{rms}/mA	标准磁场 B_0/nT	输出电压 U_x/mV	灵敏度 $C/(\text{mV}/\text{nT})$	相对扩展不确 定度 $U_r, k=2$
0.1	125	0.212	26.5	1575.903	59.5	2.3%
1				1706.034	64.38	1.94%
10				1583.509	59.76	1.94%
20				1351.534	51	1.94%

CAS-10M 磁传感器灵敏度测试，因重复性测试引入的相对不确定度分别约为：0.61%、0.005%、0.012%、0.013%；交流电压表在 1Hz、10Hz 与 20Hz 点由此引入的相对不确定度分别约为 0.017%、0.018%、0.021%，动态信号分析仪引入的相对不确定度为 0.12%，故电压测量不准引入的相对不确定度分别为：0.62%、0.05%、0.022%、0.025%。

电流源在 0.212mA 引入的相对不确定度约为 0.3%，线圈常数引入的相对不确定度约为 0.92%，则变磁场复现系统磁场不准引入的相对不确定度约为 0.97%。由磁轴对齐不准引入的相对不确定度为 0.005%。故 CAS-10M 磁传感器灵敏度测试的相对不确定度分别约为：1.15%、0.97%、0.97%、0.97%，扩展相对不确定度（ $k=2$ ）分别为：2.3%、1.94%、1.94%、1.94%。

表 19 CMS-07 型感应式磁传感器灵敏度测试原始记录表（周山）

次数	输出电压 U_x/mV			
	f_0/Hz	f_1/Hz	f_2/Hz	f_3/Hz
	0.1	1	10	20
1	2209	2674.872	2658.307	2644.328

2	2209	2674.775	2658.284	2644.271
3	2209	2675.033	2658.376	2644.258
4	2209	2674.423	2658.235	2644.342
5	2209	2675.345	2658.273	2644.389
6	2209	2674.838	2658.418	2644.457
7	2209	2675.028	2658.395	2644.269
8	2209	2674.843	2658.32	2644.347
9	2209	2675.457	2658.335	2644.317
10	2209	2674.957	2658.327	2644.331
电压平均值/mV	2209	2674.872	2658.307	2644.328

表 20 CMS-07 型感应式磁传感器灵敏度测试表（周山）

频率 f/Hz	线圈常数 $K_B/(\text{nT}/\text{mA})$	电流 I_{rms}/mA	标准磁场 B_0/nT	输出电压 U_x/mV	灵敏度 $C/(\text{mV}/\text{nT})$	相对扩展不确定度 $U_r, k=2$
0.1	125	0.212	26.5	2209.000	83.36	1.96%
1				2674.872	100.94	1.94%
10				2658.307	100.31	1.94%
20				2644.328	99.79	1.94%

CMS-07 磁传感器灵敏度测试，因重复性测试引入的相对不确定度分别约为：0、0.011%、0.002%、0.002%；交流电压表在 1Hz、10Hz 与 20Hz 点由此引入的相对不确定度分别约为 0.013%、0.013%、0.013%，动态信号分析仪引入的相对不确定度为 0.12%，故电压测量不准引入的相对不确定度分别为：0.12%、0.017%、0.013%、0.013%。

电流源在 0.212mA 引入的相对不确定度约为 0.3%，线圈常数引入的相对不确定度约为 0.92%，则变变磁场复现系统磁场不准引入的相对不确定度约为 0.97%。由磁轴对齐不准引入的相对不确定度为 0.005%。故 CAS-10M 磁传感器灵敏度测试的相对不确定度分别约为：0.98%、0.97%、0.97%、0.97%，扩展相对不确定度（ $k=2$ ）分别为：1.96%、1.94%、1.94%、1.94%。

3.3.2 测试结果

EMDS-1、CAS-10M、CMS-07 感应式磁传感器的磁场灵敏度测试结果见表 21。

表 21 EMDS-1、CAS-10M、CMS-07 感应式磁传感器的磁场灵敏度测试结果对比

磁传感器型号	测试场地	频率	灵敏度	相对扩展不确定度 $U_r, k=2$
--------	------	----	-----	---------------------

		f/Hz	$C/(\text{mV/nT})$	
EMDS-1	宜昌	0.1	9.48	5.78%
		1	17.76	5.78%
		10	18.80	5.78%
		20	19.70	5.78%
	周山	0.1	8.70	1.88%
		1	17.81	1.86%
		10	18.73	1.86%
		20	19.65	1.86%
CAS-10M	宜昌	0.1	61.19	5.78%
		1	61.95	5.78%
		10	58.17	5.78%
		20	49.88	5.78%
	周山	0.1	59.50	2.3%
		1	64.38	1.94%
		10	59.76	1.94%
		20	51.00	1.94%
CMS-07	宜昌	0.1	87.42	5.78%
		1	98.68	5.78%
		10	98.90	5.78%
		20	98.90	5.78%
	周山	0.1	83.36	1.96%
		1	100.94	1.94%
		10	100.31	1.94%
		20	99.79	1.94%

3.4 磁场噪声校准

按照地震电磁扰动观测仪校准规范（征求意见稿）中的 7.2.5 节方法对磁场噪声进行测试实验，电压噪声功率谱密度取 10 次平均。

3.4.1 测试记录

感应式磁传感器在宜昌国防科技工业弱磁专业计量站的测试情况见表 22；在江苏省地震局零磁空间的测试记录见表 23。

表 22 磁传感器磁场噪声宜昌测试记录表

磁传感器 型号	频率 f/Hz	磁场灵敏度 $C/\text{mV/nT}$	电压噪声 $U_N/(\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}})$	磁场噪声 $S_N/(\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}})$	扩展不确定度 $U/(\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}), k=2$
EMDS-1	0.1	9.48	116	12.24	1.52

	20	19.7	24	1.2	0.1
CAS-10M	0.1	61.19	132.8	2.17	1.16
	20	49.88	1.78	0.036	0.004
CMS-07	0.1	87.42	283.3	3.24	1.184
	20	98.9	5.94	0.06	0.006

EMDS-1 在 0.1Hz 处的噪声为 12.24pT/sqrt(Hz)，动态信号分析仪的测量误差 5%，引入的测量不确定度为 0.35pT/sqrt(Hz)；磁屏蔽装置按 1pT/sqrt(Hz)@0.1Hz 计算，引入的不确定度分量为 0.577pT/sqrt(Hz)；磁场灵敏度相对不确定度按 5.78%/2 计算，引入的不确定度分量为 0.35pT/sqrt(Hz)，故合成标准不确定度约为：0.76pT/sqrt(Hz)，扩展不确定度为 1.52pT/sqrt(Hz)。

EMDS-1 在 20Hz 处的噪声为 1.2pT/sqrt(Hz)，动态信号分析仪引入的测量不确定度为 0.035pT/sqrt(Hz)；磁屏蔽装置按 3fT/sqrt(Hz)@20Hz 计算，引入的不确定度分量为 0.0017pT/sqrt(Hz)；磁场灵敏度引入的测量不确定度为 0.035pT/sqrt(Hz)，故合成标准不确定度约为：0.05pT/sqrt(Hz)，扩展不确定度为 0.1pT/sqrt(Hz)。

同理，CAS-10M 在 0.1Hz 处，动态信号分析仪引入的不确定度为 0.06pT/sqrt(Hz)；磁屏蔽装置引入的不确定度分量为 0.577pT/sqrt(Hz)；磁场灵敏度引入的不确定度为 0.06pT/sqrt(Hz)；故合成标准不确定度为：0.58pT/sqrt(Hz)，扩展不确定度为 1.16pT/sqrt(Hz)。

CAS-10M 在 20Hz 磁屏蔽装置引入的不确定度分量为 0.0017pT/sqrt(Hz)；动态信号分析仪引入的测量不确定度为 0.001pT/sqrt(Hz)；磁场灵敏度引入的测量不确定度为 0.001pT/sqrt(Hz)，合成标准不确定度为：0.0022pT/sqrt(Hz)，扩展不确定度为 0.0044pT/sqrt(Hz)。

CMS-07 在 0.1Hz 磁屏蔽装置引入的不确定度分量为 0.577pT/sqrt(Hz)；动态信号分析仪引入的不确定度为 0.094pT/sqrt(Hz)；磁场灵敏度引入的不确定度为 0.094pT/sqrt(Hz)；合成标准不确定度为：0.592pT/sqrt(Hz)，扩展不确定度为 1.184pT/sqrt(Hz)；

CMS-07 在 20Hz 磁屏蔽装置引入的不确定度分量为 0.0017pT/sqrt(Hz)；动态信号分析仪引入的测量不确定度为 0.0017pT/sqrt(Hz)；磁场灵敏度引入的测量不确定度为 0.0017pT/sqrt(Hz)，合成标准不确定度为：0.003pT/sqrt(Hz)，扩展不

确定度为 $0.006\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ 。

表 23 感应式磁传感器磁场噪声周山测试记录表

磁传感器 型号	频率 f/Hz	磁场灵敏度 C/mV/nT	电压噪声 $U_N/(\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}})$	磁场噪声 $S_N/(\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}})$	扩展不确定度 $U/(\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}), k=2$
EMDS-1	0.1	8.70	192	22	5.8
	20	19.65	25.2	1.28	0.118
CAS-10M	0.1	59.5	376	6.3	5.78
	20	51.00	32.1	0.63	0.116
CMS-07	0.1	83.36	564	6.76	5.78
	20	99.79	35.6	0.35	0.116

EMDS-1 磁传感器在 0.1Hz 处噪声为 $22\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ ，零磁空间的噪声 $5\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ @0.1Hz，引入的不确定度分量为 $2.89\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ ；磁场灵敏度引入的不确定性为 $22 \times 1.88\% \div 2 = 0.2\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ ；动态信号分析仪测量误差为 0.21%，引入的不确定度为 $22 \times 0.21\% \div 2 = 0.026\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ ，故 EMDS-1 磁传感器在 0.1Hz 处的磁场噪声不确定度约 $2.9\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ ，扩展不确定度为 $5.8\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ ($k=2$)。20Hz 处磁场灵敏度引入的不确定性为 $1.28 \times 1.86\% \div 2 = 0.012\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ ，零磁空间的噪声 $0.1\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ @20Hz，引入的不确定度分量为 $0.0577\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ ；动态信号分析仪引入的不确定度为 $1.28 \times 0.21\% \div 2 = 0.001\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ ，合成标准不确定度为 $0.059\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ ，扩展不确定度为 $0.118\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ 。

CAS-10M 磁传感器在 0.1Hz 处零磁空间的噪声 $5\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ @0.1Hz，引入的不确定度分量为 $2.89\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ ；磁场灵敏度引入的不确定性为 $6.3 \times 2.3\% \div 2 = 0.072\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ ，动态信号分析仪引入的不确定度为 $6.3 \times 0.21\% \div 2 = 0.007\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ ，故合成标准不确定度为 $2.89\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ ，扩展不确定度为 $5.78\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ 。在 20Hz 处零磁空间的噪声 $0.1\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ @20Hz，引入的不确定度分量为 $0.0577\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ ；磁场灵敏度引入的不确定性为 $0.63 \times 1.94\% \div 2 = 0.006\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ ，动态信号分析仪引入的不确定度为 $0.63 \times 0.21\% \div 2 = 0.0007\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ ，故合成标准不确定度为 $0.058\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ ，扩展不确定度为 $0.116\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ 。

CMS-07 磁传感器在 0.1Hz 处零磁空间的噪声 $5\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ @0.1Hz，引入的不确定度分量为 $2.89\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ ；磁场灵敏度引入的不确定性为 $6.76 \times 1.96\% \div 2 = 0.066\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ ，动态信号分析仪引入的不确定度为 $6.76 \times 0.21\% \div 2 =$

$0.007 \text{ pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ ，故合成标准不确定度为 $2.89 \text{ pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ ，扩展不确定度为 $5.78 \text{ pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ 。在 20Hz 处零磁空间的噪声 $0.1 \text{ pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ @20Hz，引入的不确定度分量为 $0.0577 \text{ pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ ；磁场灵敏度引入的不确定性分量为 $0.35 \times 1.94\% \div 2 = 0.003 \text{ pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ ，动态信号分析仪引入的不确定度为 $0.35 \times 0.21\% \div 2 = 0.00036 \text{ pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ ，故合成标准不确定度为 $0.0578 \text{ pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ ，扩展不确定度为 $0.116 \text{ pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ 。

3.4.2 测试结果

EMDS-1、CAS-10M、CMS-07 型感应式磁传感器的噪声测试结果见表 24。

表 24 EMDS-1、CAS-10M、CMS-07 型感应式磁传感器的噪声测试结果表

传感器型号	测试地点	频率 f/Hz	磁场噪声 $S_B/(\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}})$	扩展不确定度 $U/(\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}), k=2$
EMDS-1	宜昌	0.1	12.24	1.52
		20	1.2	0.1
	周山	0.1	22	5.8
		20	1.28	0.118
CAS-10M	宜昌	0.1	2.17	1.16
		20	0.036	0.004
	周山	0.1	6.3	5.78
		20	0.63	0.116
CMS-07	宜昌	0.1	3.24	1.184
		20	0.06	0.006
	周山	0.1	6.76	5.78
		20	0.35	0.116

4、实验结论

通过对以上校准对象的实验测试验证，证明了《感应式低频地磁场扰动观测仪校准规范》能够客观、合理的评价和反映该仪器数据采集器的电压测量误差和电压分辨力、感应式磁传感器的灵敏度和噪声等计量特性，实现了量值的传递。