**等值反磁通瞬变电磁仪通用技术条件编制说明**

编制单位：湖南省计量检测研究院

中南大学

湖南五维地质科技有限公司

编制人员：徐 昱 席振铢 陈兴朋 亓庆新 周 胜

张英炉 龙 霞 薛军平 韦洪兰 肖炜

2021年4月20日

# 一、编写概况

## 1、任务来源：

《等值反磁通瞬变电磁法通用技术条件》是质监函[2016] 219号文“湖南省质量技术监督局关于下达2016年度第1批地方标准制修订项目计划的通知”计划项目之一，该标准由湖南省计量检测研究院牵头，中南大学和湖南五维地质科技有限公司参与编制，项目起止时间为2016年7月至2017年12月。

## 2、目的与意义

为了满足国家绿色城市建设、生态环境保护和地质灾害治理的重大任务需求，有必要发展针对浅层地下空间的无损地球物理探测技术。基于等值反磁通瞬变电磁法原理的探测仪器具有抗电磁干扰、不接地以及无损测量的技术优势，在铁路、交通、市政、地调以及地矿等行业勘探单位得到了广泛应用，是勘探电磁法发展趋势之一。但是，目前产品尚无相应的国际标准、国家标准、地方和行业标准，产品质量体系不统一，仪器探测数据的准确度参差不齐，产品质量亟需规范。由湖南省计量检测研究院联合中南大学、湖南五维地质科技有限公司，发挥各自的技术和资源优势，共同编制等值反磁通瞬变电磁法探测系统技术标准，统一质量评价标准，将填补国内外在等值反磁通瞬变电磁法探测仪产品标准的空白，为等值反磁通瞬变电磁法系统在国家重大项目的申请、执行、验收等环节提供技术支撑，促进湖南自主创新的方法技术尽快在国内和国际推广普及，提升我省在此新兴产业领域中的国际市场主导权和话语权。

## 3、编制过程

经湖南省质量技术监督局批准立项后，2016年7月由湖南省计量检测研究院牵头，联合中南大学和湖南五维地质科技有限公司成立标准编制项目组，并开会讨论了编制内容、实施方案以及任务分工。详细分工见表1。2016年7月～9月完成等值反磁通瞬变电磁产品生产加工过程的调研，并进行资料收集和整理，拟定了标准术语、测试主要技术参数以及基本功能；2016年9～12月拟定了标准规定的技术指标测试和功能检验方法；为了验证关断时间测量准确度、最大电流以及衰减信号稳定性等测试方法，项目组花费近一年时间，拖延了项目设计的编制进度， 2017年底才完成了各项测试试验工作；经项目组多次讨论修改，2018年4月完成标准征求意见稿；2018年5～8月，向中国地质大学（北京）的邓明、吉林大学的于生宝以及中铁第四勘察设计院集团曹哲明等国内行业知名专家教授征求意见；2018年9月～2019年6月根据专家意见修改标准；2019年7月完成标准报审稿，准备审定。由于新冠疫情严重，本标准验收推迟。

**表1、标准主要起草人员及分工**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 姓名 | 职称 | 学历 | 从事专业 | 项目任务分工 | 所在单位 |
| 1 | 徐昱 | 高工 | 硕士 | 电磁计量科学研究 | 标准总编与审定 | 湖南省计量检测研究院 |
| 2 | 席振铢 | 教授 | 博士 | 地球物理 | 标准策划与统编 | 中南大学 |
| 3 | 陈兴朋 | 工程师 | 硕士 | 地球物理 | 收发天线测试方法与测试 | 湖南五维地质科技有限公司 |
| 4 | 亓庆新 | 工程师 | 硕士 | 地球物理 | 发送系统测试方法与测试 | 湖南五维地质科技有限公司 |
| 5 | 周胜 | 工程师 | 硕士 | 地球物理 | 参数校正 | 湖南五维地质科技有限公司 |
| 6 | 龙霞 | 高工 | 博士 | 地球物理 | 测试方法研究 | 湖南五维地质科技有限公司 |
| 7 | 薛军平 | 工程师 | 硕士 | 地球物理 | 功能测试 | 湖南五维地质科技有限公司 |
| 8 | 韦洪兰 | 工程师 | 硕士 | 地球物理 | 接收系统测试方法 | 湖南五维地质科技有限公司 |
| 9 | 王威 | 工程师 | 硕士 | 地球物理 | 接收系统测试 | 湖南五维地质科技有限公司 |
| 10 | 王亮 | 工程师 | 硕士 | 地球物理 | 软件测试 | 湖南五维地质科技有限公司 |

本标准首先系统研究了等值反磁通瞬变电磁方法技术，其次开展了科学全面野外和室内测试，接着征询国内专家学者的意见，然后起草本标准，并再一次征询国内专家学者的修改意见，最后，遵照标准的普适性、科学性、系统性、可执行性、时效性以及先进性为原则编写技术参数指标与测试方法技术。

## 4、编制内容

本标准规定了等值反磁通瞬变电磁法探测系统的通用技术要求、试验方法、检验规则、安装和运行条件、标志、标签、包装等内容。

## 5、适用范围

本标准针对探测地质体电性结构的等值反磁通瞬变电磁仪的生产、检测和验收等环节制定的技术尺度或准则，也可作为国家或市场等值反磁通瞬变电磁法工程项目申报以及验收的参照标准，也适用于瞬变电磁仪、大地电磁仪以及可控源音频大地电磁仪等同类型电磁勘探方法仪器的生产、检测和验收参照标准。

# 编制原则和依据

## 1、编制原则

**（1）、合规性**

本标准遵照《中华人民共和国标准化法》(2017修订)法规，严格执行湖南省质量技术监督局《湖南省标准化项目管理办法》湘质监发〔2016〕26号HNPR-2016-30002文件精神，按照《湖南省质量技术监督专项资金管理办法》文件规定完成本标准编写。标准编制过程遵循系统科学研究方法，理论联系实践，做到有章可循、有源可溯、有理有据。

**（2）、适用性**

本标准的编写以标准的普适性、科学性、系统性、可执行性、时效性以及先进性为原则，规范等值反磁通瞬变电磁装备系统市场秩序、完善市场准入制度以及引导市场良性竞争。例如，标准5.4条的“发送基频：基频数$\geq 10$个，低频$\leq $0.1Hz，高频$\geq $200Hz。”的技术要求，主要针对有的厂家基频是2进制的、有的是对数等间距的，有的根据嵌入式系统数字模拟采集卡（AD）的采样率采样，基频不同、频率步长也不同，为了适应不同厂家的技术特点，本标准仅对最低基频、最高基频以及最少基频数提出了要求，具有普适性；同时也考虑现代集成数字电路技术的发展趋势，具有先进性。再如标准5.4条的$阻性$关断$时间\leq 5us$，本标准仅规定了阻性关断，没有规定发送电感关断，因为不同厂家的发送天线很难统一标准，而且都有发明专利保护，只有阻性关断时间可以标准检测，具有可执行性。本标准对等值反磁通瞬变电磁仪的发送机、接收机以及收发天线的主要技术参数以及功能编制，具有系统性和全面性。总之，本标准力争满足厂家和职能部门对等值反磁通瞬变电磁法产品的技术尺度或准则的要求。

**（3）、规范性**

本标准的编制遵循中华人民共和国国家标准GB/T1.1-2009标准化工作导则第1部分：标准的结构和编写规则。严格按照地方标准的编写要求和规定编写本标准的内容，保证标准的编写质量。采用国际通用的术语、符号以及技术参数，其中技术指标、功能以及环境测试方法参照国家、地方、团体以及行业相关标准，并参考了学术期刊论文、专利以及著作等公开专业文献。本标准在严格数理推导、数值计算、大量现场、实验室测试验证以及用户反馈信息的基础上编写。

## 2、制定依据

本标准编制的依据主要以国家颁布的地勘行业相关法律法规、政策性文件以及《地质仪器产品质量检验规则》（DZ0041-1992）等规范标准，参考《军用地面雷达通用规范》（GJB 74A-98）、《甚低频电磁仪通用技术条件》（DZ0021-91）、《 地质仪器产品基本安全要求》（ZBD82 005）、《地质仪器产品包装通用技术条件》（ZBD82 002）、《激电仪通用技术条件》（DZ0020.1-914）以及《地面瞬变电磁法技术规程》DZ/T 0187-1997等国内相关标准。

# 主要关键技术指标情况分析

## 接收天线谐振频率：$\geq $200kHz。

瞬变电磁法接收天线的带宽是指它有效工作的频率范围，感应式接收天线是一种电感线圈，其内阻R、自感L和分布电容C组成了一个振荡电路，当感抗和容抗相互抵消，振荡电路完全是阻性时，接收天线线圈的输出电压$V\_{c}$的相位为0，此时对应的频率为接收天线的谐振频率，也是振荡电路的固有谐振频率$ω\_{0}$，其表达式如下：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | $$ω\_{0}=\frac{1}{\sqrt{LC}}$$ | ………………………（1） |

可见，提高谐振频率的办法是降低感抗和容抗，通过调研和测试，采用正交累进以及分层分段屏蔽技术可满足200KHz谐振频率的技术指标要求。

## 接收天线等效面积：$\geq 150m^{2}$

针对过去瞬变电磁法的接收天线采用单匝或多匝线框，边框大小根据探测目标体变化，其探测能力与接收面积有关，为此，评价接收天线的能力通常采用接收面积大小衡量，接收面积=匝数×边框面积；但是，等值反磁通瞬变电磁的接收天线是感应式传感器，接收信号的能力不但与匝数和边框面积有关，还与前置放大器倍数、谐振频率以及天线噪声等有关，因此，接收天线的面积只能采用等效面积计量，接收天线等效面积≈放大倍数×匝数×传感器横截面面积。一般来说，放大倍数至少可达10倍，匝数可达100匝，目前最小横截面面积=0.25×0.25×3.14=0.19625，等效面积$=10×100×0.19625=196.25m^{2}$，不失一般性，能够满足$150m^{2}$技术要求。

## 3 发送电流准确度：$\leq 0.2A$

发送电流准确度是针对大于5A发送电流的等值反磁通瞬变电磁仪来规定的，为了抗电磁干扰与提高勘探深度，增大发送电流是一种主要途径，所以，大电流是等值反磁通瞬变电磁发送机的研究趋势之一，最小电流的误差4%，达到了相关规范不大于5%的技术要求。但是，本标准不适应于含有瓦斯、煤气以及油汽等易燃易爆的气体环境工作（例如煤矿），井下电磁探测发送安全电流一般要求小于3A。

## $4、阻性$关断$时间准确度$：$\leq 0.5uS$

目前，EM47、GDP以及V8等国外著名的电磁仪器的瞬变电磁法阻性关断时间的性能指标基本可达$0.2uS$ ，但是，对于关断时间的定义仅仅局限于理论，是无法测试的，本标准3.8定义了关断时间，指出关断后电流减小至1%的时间称为瞬变电磁发送电流的关断时间，这样具有可执行性，通过抽样测试基本能够达到小于$0.5uS$的技术指标要求。

## 5、接收机满量程动态范围： $\geq $120dB

随着集成电路的发展，24位ADC基本是常用的模数转换器，可采集8个数量级信号，理论上动态范围可达160dB，如果电路设计科学合理、元器件噪声低以及工艺精良，接收机满量程动态范围能够满足大于120dB的技术要求，而且随着32位甚至64位ADC的性能提高与价格下降，将成为电磁法仪器广泛选用的芯片，因此，大于120dB的技术指标具有先进性。

## 6、同步精度：$\leq 20ns$

目前，等值反磁通瞬变电磁仪收发是一体机，采用小于30厘米的导线，不考虑电子器件触发与响应时间，其同步精度$<1ns$，能够满足同步精度的要求。将来，接收机和发送机可能是分离模式，同步采用GPS、石英钟和原子钟的方式，目前，GPS保持模式的精度15ns，非保持模式30ns；而我国的北斗系统同步精度$200ns$，按目前技术发展速度，不到10年卫星同步精度可达10ns，满足电磁探测技术要求，同步精度$\leq $20ns的技术指标，保障了标准技术指标的先进性。

# 主要试验（或验证）情况分析

为了验证技术指标的科学性以及测试方法的有效性，近2年内先后取样测试了30台基于等值反磁通瞬变电磁法的HPTEM-08、HPTEM-18以及TTEM-18等不同仪器型号的技术指标和功能。测试过程中不需要拆封主机，测试方便快捷，测试结果合格率100%，具体测试内容和结果见下表。

**表2 等值反磁通瞬变电磁法仪器抽样测试统计表**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 检测项目 | 技术要求 | 试验样品数量（台） | 符合率（%） |
| 发送电流准确度 | $$\leq 0.2A$$ | 30 | 100% |
| 发送电流重复性 | $$\leq 0.1A$$ | 30 | 100% |
| 发送基频准确度 | $$\leq 0.001Hz$$ | 30 | 100% |
| $阻性$关断$时间$ | $$\leq 5µS$$ | 30 | 100% |
| 阻性关断时间准确度 | $$\leq 0.5µS$$ | 30 | 100% |
| 满量程动态范围 | $>$120dB | 30 | 100% |
| 输入短路噪声 | $$<1µV$$ | 30 | 100% |
| 收发同步时间精度 | $$<20nS$$ | 30 | 100% |
| 接收天线等效面积 | $$>150m^{2}$$ | 30 | 100% |
| 接收天线谐振频率 | $$>200kHz$$ | 30 | 100% |
| 线性关断测试 | 线性 | 30 | 100% |
| 衰减信号稳定性 | 畸变率$<0.0001$ | 30 | 100% |

# 本标准的推广应用及预期效果

湖南省地球物理电磁探测技术享誉国内外，是湖南特色专业学科，目前，国内外没有等值反磁通瞬变电磁法通用技术标准，通过本标准的编制，使基于等值反磁通瞬变电磁法探测仪器生产有规可循，确保仪器质量，促进规模化生产，增加湖南高科技产品的种类，提升我国地学领域高科技竞争力，对湖南产业结构调整、经济发展和社会和谐具有一定的现实意义。

1. **贯彻标准的要求和措施建议**

本标准发布实施后，建议在行业内进行推广。