“基于Hilbert-Huang变换的大地电磁信

号处理方法研究”申报湖南省自然科学奖公示内容

一、项目名称

基于Hilbert-Huang变换的大地电磁信号处理方法研究

二、推荐意见

经认真审核提名书材料，该项目采用与传统 Fourier 变换对比的方法，系统研究了新发展起来的非线性信号处理方法Hilbert-Huang变换（HHT）在大地电磁数据处理中的关键技术问题。在国家自然科学基金和湖南省自然科学基金的支持下，对Hilbert-Huang变换在大地电磁（MT）数据的去噪、功率谱计算和阻抗估计等方面进行了研究，并从精度 、稳定性和效率等方面，建立新方法的评价体系。取得了一些重要成果：(1)建立了由Hilbert瞬时谱来估算MT响应参数的数学模型及评价体系; (2) 提出了基于经验模式分解( Empirical Mode Decomposition，EMD)的高精度大地电磁数据预处理方法; (3) 鉴于HHT算法本身和MT测深的工程实际，提出了EMD分解中曲线拟合、端点效应和筛选停止准则三项关键技术的解决方案。所得结果为减小MT响应参数估算偏差提供了技术支持。综上所述，我单位同意提名该项目参评湖南省自然科学奖。

提名该项目为湖南省自然科学奖三等奖。

三、项目简介

用新发展起来的非线性信号处理方法 Hilbert-Huang 变换（HHT）来估算功率谱，适合 MT 信号非平稳特性的本质，这为克服电法勘探中 MT 信号的非平稳特性与传统 Fourier 变换方法不适宜带来的估算偏差提供了思路。然而，并未形成系统的一套方法，鉴于HHT算法本身和MT测深的工程实际，还存在一些关键技术与瓶颈问题亟待解决。因此，系统地研究Hilbert-Huang变换在大地电磁数据处理中的关键技术，并从精度 、稳定性和效率等方面，建立新方法的评价体系，为获得“无偏”的MT参数估计寻找新途径有重要的帮助作用。

该项目采用与传统 Fourier 变换对比的方法，系统研究了Hilbert-Huang变换（HHT）在大地电磁数据处理中的关键技术，形成以下主要科学发现点。

(1) 建立了由Hilbert瞬时谱来估算MT响应参数的数学模型及评价体系。用Hilbert瞬时谱代替传统的Fourier谱，代入到最小二次方程，进行MT响应参数的估算，把时频幅值谱图变成时频响应参数谱图，在时-频域响应参数谱图中统计估算大地电磁的阻抗和相位，建立了由Hilbert瞬时谱来估算大地电磁响应函数的数学模型。从方法的精度、稳定性和生产效率等方面，建立了新方法的评价体系。为寻求“无偏”的MT响应参数估计提供了新的途径。

(2) 提出了基于经验模式分解( Empirical Mode Decomposition，EMD)的高精度大地电磁数据预处理方法。根据大地电磁信号噪声具有多源性、多类型和随机性等特点，建立了大地电磁信号噪声样本库，构建了基于EMD分解的高保真MT信噪分离方法。研究表明EMD分解与自适应滤波和人工神经网络等仿生学算法组合的大地电磁信号消噪方法，在对MT数据进行二次信噪分离的同时，最大限度地保留了大地电磁的有用信号，为后续的阻抗估算奠定了基础。

(3) 提出了EMD在大地电磁信号分析中存在的问题及解决方案。结合实际MT信号分析的特点, 研究了EMD分解中的曲线拟合、端点效应和筛选停止准则等三个关键技术对MT数据分析的影响，提出用分段幂函数法拟合极值曲线、用波形匹配预测法抑制端点效应和基于Cauchy收敛准则的筛选停止条件的解决方案，结果为大地电磁信号分析中EMD分解方法的选择提供了有价值的参考。

提供了8篇代表作与论文，英文论文5篇，中文论文2篇、专著1部。其中英文SCI收录论文发表在《Pure and Applied Geophysics》2篇、《Exploration Geophysics》2篇、《Arabian Journal of Geosciences》1篇，总SCI引用20次，他引16次，单篇最大引用9次，单篇最大他引用6次；为响应鼓励提供国内期刊发表的论文，提供了2篇中文论文，在中国学术期刊网（CNKI）总引27次，总他引21次，单篇最大引用19次，单篇最大他引用13次；专著为复旦大学出版社出版的中文专著。

四、客观评价

1、项目所选择的5篇SCI收录的英文代表作，在《Pure and Applied Geophysics》发表2篇，在《Exploration Geophysics》发表2篇，在《Arabian Journal of Geosciences》发表1篇。《Pure and Applied Geophysics》和《Exploration Geophysics》等他们都是国际上非常重要的应用地球物理学刊物，由于其广泛的影响力，在其上面发表文章难度较大。因此项目在此刊物上有5篇文章，审稿专家对项目的认可度及其学术价值，可见一斑。

2、项目所选用的5篇SCI收录论文，已经过中南大学科技查新，检索数据库为SCI-Expanded(收录和引用)、JCR（查SCI影响因子和分区），结果显示：5篇论文总SCI引用20次，他引16次，单篇最大引用9次，单篇最大他引用6次。总的来说，引用不太高，这主要是因为项目所研究的Hilbert-Huang变换提出时间不长，研究方向较前沿且较窄。不过，查新结果也能说明该项目有一定的影响。

提供的2篇中文论文，已经过中南大学科技查新，中国学术期刊网（CNKI）总引27次，总他引21次，单篇最大引用19次，单篇最大他引用13次。2篇论文分别是在2013年和2016年发表的，发表的时间不长，引用次数也算是不错了。

3、项目研究期间，获得了1项国家自然科学基金，2项湖南省自然科学基金，1项湖南省教育厅重点项目，项目均已验收结题。系列课题能获批立项，并如期结题，也是专家们对项目研究意义和成果的肯定。项目分别为:

（1）国家自然科学基金青年项目：基于Hilbert-Huang变换的大地电磁数据处理方法研究（41304098），已结题。

（2）湖南省自科金面上项目:Hilbert-Huang变换在大地电磁资料处理中的关键技术研究(2017JJ2192)，已结题。

（3）湖南省自科金青年项目：基于Hilbert-Huang变换的大地电磁资料处理方法与应用研究（12JJ4034），已结题。

（4）湖南省教育厅重点项目：基于Hilbert瞬时谱的大地电磁响应函数估算方法研究（16A146），已结题。

4、该项目建立了由Hilbert瞬时谱来估算MT响应参数的数学模型及评价体系；提出了基于EMD分解的大地电磁数据预处理方法；提出了EMD分解中曲线拟合、端点效应和筛选停止准则几个重要技术的解决方案。课题成果可为最小化传统方法带来的估算偏差提供技术支持，为寻找获得“无偏”的参数估计提供了新途径。客观地讲，所得结果和结论有助于提高大地电磁法的数据处理精度及解释水平，更好的指导生产、勘察实际，也为对其进行下一步的理论和应用研究提供了有价值的参考。

五、主要知识产权

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 代表作及论文名称/刊名/作者 | 影响因子 | 年卷页码  （xx年xx卷  xx页） | 发表时间（年月 日） | 通讯作者（含共同） | 第一作者（含共同） | 国内作者 | 他引总次数 | SCI  他引次数 | 知识产权是否归国内所有 | 是否代表作 |
| 1 | Magnetotelluric Response Function Estimation Based on Hilbert–Huang Transform/Pure and Applied Geophysics / JIAN-HUA CAI | 1.466 | 2013年11卷1899-1911页 | 2013年 11月23日 | JIAN-HUA CAI | JIAN-HUA CAI | 蔡剑华 | 6 | 6 | 是 | 是 |
| 2 | A combinatorial filtering method for magnetotelluric time-series based on Hilbert-Huang transform/Exploration Geophysics /Jianhua Cai | 1.116 | 2014年45卷63-73页 | 2014年6月17日 | Jianhua Cai | Jianhua Cai | 蔡剑华 | 6 | 6 | 是 | 是 |
| 3 | A combinatorial filtering method for magnetotelluric data series with strong interference /Arabian Journal of Geosciences/Cai Jian-hua | 1.141 | 2016年9卷1-13页 | 2016年9月25日 | Cai Jian-hua | Cai Jian-hua | 蔡剑华 | 3 | 3 | 是 | 是 |
| 4 | A time-frequency analysis method to obtain stable estimates of magnetotelluric response function based on Hilbert-Huang transform/Exploration Geophysics/ Jianhua Cai | 1.116 | 2017年 48卷 192–200页 | 2017年9月17日 | Jianhua Cai | Jianhua Cai | 蔡剑华 | 1 | 1 | 是 | 是 |
| 5 | 基于经验模态分解与小波阈值的MT信号去噪方法/石油地球物理勘探/蔡剑华，王先春，胡惟文. |  | 2013年48卷303-307页. | 2013年4月17日 | 蔡剑华 | 蔡剑华 | 蔡剑华，王先春，胡惟文. | 13 |  | 是 | 是 |
| 6 | Spectrum Analysis of Magnetotelluric Data Series Based on EMD-Teager Transform/ Pure and Applied Geophysics/JIANHUA CAI, QINGYE CHEN | 1.466 | 2015年172卷2901-2915 | 2015年10月16日 | JIANHUA CAI | JIANHUA CAI | 蔡剑华，陈卿冶 | 0 | 0 |  |  |
| 7 | EMD在大地电磁信号分析中的问题及解决方法/石油地球物理勘探/蔡剑华，王先春． |  | 2016年51卷204-210页． | 2016年2月19日 | 蔡剑华 | 蔡剑华 | 蔡剑华，王先春． | 8 |  |  |  |
| 8 | Hilbert-Huang变换及其在信号处理中的应用/复旦大学出版/蔡剑华 |  | 2016.1版  110-119页  ，238-  244页 | 2016年1月18日 | 蔡剑华 | 蔡剑华 | 蔡剑华 |  |  |  |  |
| 合 计 | | | | | | | | 37 | 16 |  |  |

六、主要完成人情况

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 姓 名 | 蔡剑华 | 项目排名 | 1 | 职务/职称 | 教授/副院长 |
| 工作单位 | 湖南文理学院 | | 完成单位 | 湖南文理学院 | |
| 对本项目的贡献 | 为本项目的第一完成人，所选8篇代表作及论文的第一作者，同为通信作者。在本项目的研究中，蔡剑华为研究内容的设计者和主要完成者，占总工作量的80%。主要负责所研究内容前沿课题的关注、搜集、思考与设计。撰写实现该任务所应进行的相应工作提纲，将任务在课题组内进行分工，并进行相应的指导，主持课题内重要问题的讨论。项目的主要科技创新点均由第一完成人贡献，对应第1、第2和第3项科学发现和所有代表作及论文[见附件:1-1到1-8]。 | | | | |
| 姓 名 | 王先春 | 项目排名 | 2 | 职务/职称 | 副教授/副院长 |
| 工作单位 | 湖南文理学院 | | 完成单位 | 湖南文理学院 | |
| 对本项目的贡献 | 为本项目的第二完成人，参与了项目所选8篇论文中2篇文章的相关工作，  在代表性论文中的排名分别为第2、第2。在参与的文章中，主要工作是收集处理MT相关数据，对数据处理结果的合理性进行分析，并对新方法的评价体系进行了研究。进行了2篇文章部分内容的撰写工作，所做工作约占2篇文章总工作量的15%，主要贡献为：建立了大地电磁信号噪声样本库，并就基于Cauchy收敛准则的EMD分解终止条件进行了评价研究。对应第2和第3项科学发现，代表作及论文编号为5和7[见附件:1-5,1-7]。 | | | | |
| 姓 名 | 胡惟文 | 项目排名 | 3 | 职务/职称 | 副教授 |
| 工作单位 | 湖南文理学院 | | 完成单位 | 湖南文理学院 | |
| 对本项目的贡献 | 为本项目的第三完成人，参与了项目所选8篇论文中1篇文章的相关工  作，在代表性论文中的排名为第3。在参与的文章中，主要工作是研究了EMD分解中的曲线拟合对MT数据分析的影响，分析了用分段幂函数法拟合极值曲线的解决方案，并用实测数据进行了对比研究。进行了论文部分内容的撰写工作，所做工作约占1篇文章总工作量的10%。主要贡献为：对比研究了用分段幂函数法拟合极值曲线的解决方案。对应第3项科学发现，代表作及论文编号为 7[见附件: 1-7]。 | | | | |

七、主要完成单位及创新推广贡献

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 单位名称 | 湖南文理学院 | 排 名 | 1 |
| 对本项目的贡献 | 湖南文理学院是本项目的第一完成单位，也是唯一完成单位，湖南文理学院对组织本项目立项、组建科研团队，开展科研合作，提供了必需的科研条件，为保证项目顺利实施与完成起了重要作用。湖南文理学院也是该项目实施过程中的1个国家项目及3个省级项目的完成单位。因此，该项目的重要学术成果均为  湖南文理学院的贡献。主要学术成果包括：  (1)建立由Hilbert瞬时谱来估算MT响应参数的数学模型及评价体系;  (2) 提出了基于EMD分解的高精度大地电磁数据预处理方法;  (3) 鉴于HHT算法本身和MT测深的工程实际，提出了EMD分解中曲线拟合、端点效应和筛选停止准则  三项关键技术的解决方案。 | | |

八、完成人合作关系说明

“基于Hilbert-Huang变换的大地电磁信号处理方法研究”项目主要完成人在完成单位的支持下，在项目的实施过程中密切配合，分工合作，圆满完成了项目的各项工作。

蔡剑华为本项目的第一完成人，是所选8篇代表作及论文的第一作者，同为通信作者。在本项目的研究中，蔡剑华为研究内容的设计者和主要完成者，占总工作量的80%。主要负责所研究内容前沿课题的关注、搜集、思考与设计。撰写实现该任务所应进行的相应工作提纲，将任务在课题组内进行分工，并进行相应的指导。主持课题内重要问题的讨论，项目的主要科技创新点均由第一完成人贡献，对应所有提供的代表作及论文。

王先春为本项目的第二完成人，参与了项目所选8篇论文中2篇文章的相关工作，在代表性论文中的排名分别为第2、第2。在参与的文章中，主要工作是收集处理MT相关数据，对数据处理结果的合理性进行分析，并对新方法的评价体系进行了研究。进行了2篇文章部分内容的撰写工作，所做工作约占2篇文章总工作量的15%，主要贡献为：建立了大地电磁信号噪声样本库，并就基于Cauchy收敛准则的EMD分解终止条件进行了评价研究。对应第2和第3项科学发现，代表作及论文编号为5和7。

胡惟文为本项目的第三完成人，参与了项目所选8篇论文中1篇文章的相关工作，在代表性论文中的排名为第3。在参与的文章中，主要工作是研究了EMD分解中的曲线拟合对MT数据分析的影响，分析了用分段幂函数法拟合极值曲线的解决方案，并用实测数据进行了对比研究。进行了论文部分内容的撰写工作，所做工作约占1篇文章总工作量的10%。主要贡献为：对比研究了用分段幂函数法拟合极值曲线的解决方案。对应第3项科学发现，代表作及论文编号为7。

项目完成人员在项目实施过程中合作十分愉快，对个人在项目中的排名中无异议。