

项目名称：极端海浪遥感反演关键技术及其预报应用

申报等级：自然资源科学技术奖二等奖

项目简介：

1. 项目立项背景

第四次 IPCC 评估报告指出过去全球热带气旋强度增大，气候模式模拟结果表明未来热带气旋（包括台风和飓风）可能会变得更强，同时海浪强度也相应增大；极地气温上升，通过冰-海-气相互作用影响着全球气候变化，未来北冰洋区域海浪强度会有所增加，模式预估本世纪末最大浪高可能会增加 6m，比 20 世纪末期高 2-3 倍；受全球和极地气候变暖影响，中国是受影响的典型敏感区和脆弱区，台风浪成为中国近海主要的海洋动力灾害之一。

随着“海洋强国”和“一带一路”战略的实施，面对海洋防灾减灾和北极通航重大需求，提升极端海浪（包括台风浪和北极海浪）自主海洋卫星遥感反演和攻关极端海浪预报关键技术水平，支撑海洋强国战略实施和海洋经济可持续发展，提高我国参与北极开发和战略规划的技术支撑能力。

2. 研究目标

高海况下基于自主星载合成孔径雷达（SAR）遥感应用还处于空白，本项目围绕极端海浪卫星遥感及其预报应用两类关键技术进行联合攻关，研发自主星载 SAR 极端海浪反演技术和极区多源高度计数据融合技术，基于第三代海浪模式 WAVEWATCH-III（WW3），利用极端海浪遥感数据改进高风速风输入、耗散项、海冰-海浪相互作用等关键物理过程参数化方案，提高极端海浪的预报精度。

3. 主要创新成果

在国家重点科技项目的持续支持下，历经 16 年，围绕极端海浪预报关键技术，系统设计研究内容，解决了若干关键技术瓶颈，取得了系列创新成果：（1）台风浪在星载 SAR 图像上有较强的非线性效应，首次揭示了我国自主星载 SAR 高分三号散射信号、非线性截断波长与台风浪有效波高之间的内在关系，基于深度学习开发出台风浪反演算法。（2）北冰洋浮冰压制海浪，使用优化海浪调制函数，首次应用到自主星载 SAR 海浪反演，建立了北冰洋海浪反演算法。（3）基于本项目同步风、浪遥感数据，在基于风的传统海面拖曳系数基础上，提出了同时考虑风和浪影响的海面拖曳系数计算公式；基于非线性波波作用耗散思路，提出了四波耗散项参数化优化方案；揭示海冰对波浪能量的低通滤波效应，建立了浪-冰相互作用参数化方案；基于以上自主参数化优化方案，应用球面倍格元网格改进了全球海洋 WW3 模式，24 小时全球海浪有效波高误差 $\leq 18\%$ 或 0.5m。

4. 应用情况与成果完成后的社会效益

项目研究成果为我国自主星载 SAR 海浪产品提供反演算法，在国家卫星海洋应用中心自主得到应用；基于本项目自主研发的台风浪拖海面曳系数、耗散和冰-浪作用的参数化方案改进了 WW3，在国家海洋环境预报中心、北海预报中心、东海预报中心、南海调查技术中心及多家海洋环境监测中心站等单位得到有效应用。项目组凝聚和造就了以一支海浪研究为核心、卫星遥感与数值模式交叉融合、面向极端海浪应用的研究队伍，项目期间承担了多项国家级项目，培养了博士/硕士研究生 50 余人，为保持我国在该领域的持续创新和国际先进奠定了以人才为核心的创新能力基础。

推广应用情况:

研究成果累计出版专著 2 部, 发表论文 72 篇, 其中在 JC、JGR、JPO 等海洋学著名期刊发表 SCI 论文 52 篇, Web of Science 总引用 1073 次, 授权国家发明专利 3 项、软件著作权 4 项。多项研究成果被推广, 代表性成果得到 Annual Review of Fluid Mechanics、Reviews of Geophysics 以及多个 Nature 子刊等的引用和积极评价(见代表性成果及引用)。部分成果入选 2021 年联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)发布的第六次评估报告。

此外, 项目组构建的台风浪遥感反演技术及极端海浪预报模式, 目前广泛应用于台风动力过程监测、台风浪和北极海浪等预报业务化、海洋调查等工作, 在国家海洋环境预报中心、国家海卫星海洋应用中心、国家海洋局北海预报中心、国家海洋局东海预报中心、国家海洋局南海调查技术中心、自然资源部东海生态中心、国家海洋局温州海洋中心、国家海洋局宁德海洋环境监测中心站和福建省海洋预报台等单位得到推广, 同时应用于卫星遥感领域两大上市公司: 航天宏图信息技术股份有限公司(股票代码: 688066)和中科星图股份有限公司(股票代码: 688568), 应用时间超过 5 年, 相关技术成熟, 达到业务应用和推广水平, 受到业内一致好评。

主要知识产权和标准规范等目录:

知识产权(标准)类别	知识产权(标准)具体名称	国家(地区)	授权号(标准编号)	授权(标准发布)日期	证书编号(标准批准发布部门)	权利人(标准起草单位)	发明人(标准起草人)	发明专利(标准)有效状态
发明专利	一种海面风场和海浪联合反演的方法	中国	ZL2014100815695	2017-10-17	2658846	浙江海洋大学	邵伟增, 孙建, 孙展凤	有效
发明专利	一种海面风场和海浪联合反演的装置	中国	ZL2014100814974	2017-10-17	2658847	浙江海洋大学	邵伟增, 孙建, 孙展凤	有效
发明专利	SAR 海面仿真方法及装置	中国	ZL2017103484170	2020-04-24	3769293	浙江海洋大学	邵伟增, 李欢, 孙展凤	有效
计算机软件著作权	海洋飞沫通量	中国	2017SR4734	2017-08-28	2058759	史剑, 张文	史剑, 张文	有效

作权	计算模型软件 1.0		75			静, 张永垂	静, 张永垂	
计算机软件著作权	中国近海设计波浪要素推算系统 [简称: DOWSCO] V1.0	中国	2012SR105921	2012-11-07	0473957	国家海洋信息中心	国家海洋信息中心	有效
计算机软件著作权	中国近海波浪能评估系统 [简称: CWES] V1.0	中国	2013SR136606	2013-12-02	0642368	国家海洋信息中心	国家海洋信息中心	有效
计算机软件著作权	海洋涌浪衰减率分析系统 V1.0	中国	2021SR0774716	2021-05-27	7497342	上海海洋大学	上海海洋大学	有效

主要完成人: 邵伟增、史剑、管长龙、胡伟、孙建、张瑜、刘首华、魏永亮、李静凯、刘庆翔

主要完成单位: 上海海洋大学、中国人民解放军国防科技大学、中国海洋大学、国家海洋局北海预报中心、国家海洋信息中心