**2019年国家自然科学奖公示材料**

**项目名称：**

海底热液地质过程及其资源环境效应研究

**提名者及提名意见：中国科学院**

该项目团队面对国家海洋战略及对海底资源开发利用的需求，经过近二十年的努力，一方面，为提升海底热液地质过程及其资源环境效应的研究水平做出了贡献。包括：1）创建海底热液地质学。2）系统揭示全球海底硫化物等热液产物的物质来源及其控制因素，构建了热液产物的形成过程及形成模式。3）突破了限制掌握硫化物资源潜力的关键瓶颈，拓展将底栖生物作为记录流体过程信息载体的作用，多角度阐明了流体活动对海底环境的作用机制。4）取得具有影响力的成果，分别在《Earth and Planetary Science Letters》等期刊上发表，出版专著1部，使海底热液活动研究达到新的高度，得到国内外同行引用，推动了海底热液地质学的进步。

另一方面，该项目团队在发展海底热液地质过程及其资源环境效应的调查研究方法及探测技术方面取得进展。包括：1）建立热液活动及其硫化物资源的“两阶段六过程”调查模式。2）研制出声学浊度传感器和新的海水温度测量装置，发明了深海探测系统耐压舱的漏水远程检测装置和防腐型高压反应釜，提出两种热液柱温度异常自动化计算方法。3）获授权发明专利4项和实用新型专利8项，在热液活动探测过程中发挥了作用，为深海硫化物资源调查研究工作提供了保障。

对照国家自然科学奖授奖条件，确认提名材料真实有效，公示无异议，相关栏目符合要求。

提名该项目为国家自然科学奖 二 等奖。

**项目简介：**

该项目属于地球科学研究领域。

开展该项目研究工作事关国家海洋权益和深海热液环境的保护。

为此，该项目针对海底热液系统及其资源环境的调查与评价问题，进行了海底热液地质过程及其资源环境效应研究以及调查设备研发、技术创新、模式构建和资源潜力评估，取得了评估热液活动的热、质通量等一系列具有影响力的成果，为海底硫化物资源的开发和利用以及热液极端环境的保护提供了研究基础。取得的突破性进展如下：

1. 针对解决热液系统及其成矿的控制机理问题，率先提出海底热液地质学的构架，系统揭示全球海底硫化物等热液产物的物质来源及其控制因素，重建热液产物的形成过程，率先在大陆开展浅海热液活动研究，揭示流体来源及演化规律，创造性提出自然硫烟囱体和自然硫球的形成模式，创建了海底热液地质学。

2. 针对解决热液地质过程对海底环境的影响机理及其热、质输送机制问题，拓展将海底生物作为揭示热液产物形成机理的新途径，提出了新的硫、铅同位素组成离散程度和变化率计算方法，建立了新的He/热比值计算方法，多角度阐明了热液地质过程对海底环境的作用机制，突破了限制掌握硫化物资源潜力的关键瓶颈。

3. 针对海底热液地质过程及其资源环境效应探测技术问题，研究建立了海底热液活动及其硫化物等热液产物的“两阶段六过程”调查模式，研制出一套声学浊度传感器、一套热液柱探测设备、一套海底箱式多管取样器、一套新型海底拖网和一套海水气体取样器，发明了一种防腐型高压反应釜和一套ICP-MS氢化物进样系统，提出两种热液柱温度异常自动化计算方法，在海底热液地质过程及其资源环境效应调查与研究过程中发挥了作用。例如，2005年，运用所建立的热液活动及其硫化物资源调查模式，完成了环球航次调查重要任务。2014年，发现唐印热液区，打破了日本在冲绳海槽热液活动及其硫化物资源调查的垄断。

第一完成人获得了2015年度中国科学院杰出科技成就奖（主要完成者）和中国大洋矿产资源研究开发协会“优秀工作奖”及奖章。该项目在*《Science in China》*、*《Earth and Planetary Science Letters》、《Chemical Geology》、《Marine Chemistry》*和*《Ore Geology Reviews》*等期刊上发表，出版专著1部，获授权国家发明专利4项和实用新型专利8项。其中，代表性论文被他引38次，在热液活动及其硫化物研究领域产生了影响，推动了海底热液地质学及其调查研究技术的发展。

**客观评价：**

（一）发表论文/专著得到了国内外专家的引用及正面评价

代表性专著1构建了海底热液地质学的格架，其内容先后被学者引用，开展锰矿地球化学特征及成矿物质来源、洋中脊热液成矿地质条件、矿床地球化学特征以及碳酸锰矿床成因等矿床学研究；支撑了地幔热液喷积岩、白云岩地球化学特征以及大洋玄武岩物质组成特征等岩石学研究和开展现代海底热液活动系统模式、热液柱动力过程数值模拟、热液硫化物矿体微生物风化以及岛弧-弧后盆地热液活动及成矿作用等海底热液地质方面的研究。

代表性论文2的研究成果被国内学者多次在国际期刊《Ore Geology Reviews》上发表的论文中引用，其中中山大学著名矿床学家孙晓明教授曾在其7篇研究论文中引用该成果，分别应用于海底与陆上硫化物地球化学、年代学及物源、成矿流体演化等研究中。国际著名稀有气体同位素研究专家Burnard参考该研究中对大西洋洋中脊200–360 °C间被捕获的气-液流体包裹体的分析结果，获得新的认识“海水来源的喷口流体，其稀有气体均具有类似的溶解度”。特别是，资深海洋生物学家Banoub在《热液喷口生态系统》报告中2处引用该研究成果，为认识热液生态系统提供了必须的地质环境支撑。

澳大利亚科廷大学Tessalina博士和麦考瑞大学Belousova博士，在利用Os-S同位素及U-Pb定年，研究镁铁质-超镁铁质岩中硫化物的高亲铁元素分布时，曾多处引用代表性论文3的研究成果，并高度认同代表性论文3提出的硫化物中Os主要来自海水，且初始古老海底硫化物矿床的187Os/188Os同位素组成可用于还原古海水的Os组成这一观点。美国加利福尼亚州立大学和伍兹霍尔海洋研究所的Conrad 和Nielsen等学者，多处引用代表性论文3的成果，为其重建海底蒙特利峡谷演化历程提供了重要佐证。此外，美国地质调查局的Kelley等学者，也将代表性论文3中的成果，应用于加拿大西北地区陆上块状硫化物的成因研究。

德国雅各布大学著名学者Schmidt等将代表性论文4的研究成果应用于西太平洋热液系统中的流体演化研究。澳大利亚科廷大学Ware等学者，引用代表性论文4中“大洋玄武岩斜长石和玄武质玻璃发生蚀变时，辉石未受热液影响”的论据，开展陆源辉石40Ar/39Ar地质年代学研究。

代表性论文5的研究成果为中国科学院青海盐湖所Han JL等学者开展青藏高原盐泉和盐岩起源与演化研究、中国地质大学（武汉）He ZK等学者开展沿海地区松散含水层系统的地下水演化研究提供了参考。

代表性论文7的研究成果，被国际著名海底矿产资源研究专家Binns应用，研究了海底热液区大型硅质烟囱的成因。最近，该研究成果还为法国海洋开发研究院Josso团队以及Rouxel团队，研究Fe-Mn矿床分类及成因提供了借鉴。同时，该研究成果中有关氧化细菌对Fe-Si-Mn热液羟基氧化物的形成产生作用的观点，还被国际著名矿产资源研究专家Surour应用于沙特阿拉伯Jabal Samran地区蚀变带中Fe-Mn（III）羟基氧化物的化学性质研究。

代表性论文8建立的自然硫球“汤圆”形成模式，为浙江大学Chen等学者研究浅海热液气体组成特征及来源提供了重要背景信息，为剑桥大学Bishop等学者开展陆上硫磺球形成机理研究提供了佐证；也为台湾中央研究院Chan等学者深入了解浅海热液区微生物生态系统提供了研究基础。

（二）课题完成验收，成果获评优秀，项目成员获“优秀工作奖”及奖章

2006年7月，中国大洋协会办公室组织有关专家对该项目团队承担的课题“特定海区硫化物成矿背景与资源远景评价研究”进行了验收，专家组认为该课题重点解决了海底硫化物工作靶区的选择、调查方案制定和资源评价参数选择等难点问题，为中国大洋协会有关航次设计提供了关键性建议。课题取得了多项创新性认识，对中国大洋协会海底硫化物调查项目的执行具有推动作用，将该课题研究工作评为优秀，获中国大洋协会“优秀工作奖”及奖章表彰。

（三）在深海探测与研究平台体系建设研究中做出重要贡献，为引领中国新一代科学考察船建设、带动中国海洋装备技术体系发展提供工作基础

2016年，中国科学院鉴于该项目成员曾志刚研究员在深海探测与研究平台体系建设研究集体中，为突破中国深海热液地质过程及其资源环境效应探测与研究的技术与装备瓶颈，使中国深海热液地质过程及其资源环境效应探测与研究能力跨入世界先进国家行列，做出的重要贡献，特授予2015年度中国科学院杰出科技成就奖（主要完成者）。

（四）攻克海底热液地质过程及其资源环境效应研究关键难题，连续两年入选“中国海洋与湖沼十大科技进展”

2016年，该项目成员在冲绳海槽进行深海热液地质过程及其资源环境效应综合调查时取得的重要进展，突破了评价海底硫化物资源潜力、制约弧后盆地地质演化过程的关键难题，维护了国家海洋权益，保障了国家海洋安全，入选“2016年度中国海洋与湖沼十大科技进展”。该项目成员首次揭示全球热液活动输出的稀土元素总量，提出计算He/热比值的新方法，进一步明确海底热液活动在全球大洋热输出的地位和作用，攻克评价海底硫化物资源潜力的瓶颈问题与关键技术，入选“2015年度中国海洋与湖沼十大科技进展”。

**代表性论文专著目录：**

1. 曾志刚，海底热液地质学，科学出版社，2011.
2. Zeng, Z.G., Qin, Y.S., Zhai, S.K., He, Ne and Ar isotope compositions of fluid inclusions in hydrothermal sulfides from the TAG hydrothermal field，Mid-Atlantic Ridge, Science in China (Ser. D),2001,44:221-228.
3. Zeng, Z.G., Chen, S., Selby, D., Yin, X.B., Wang, X.Y., Rhenium-osmium abundance and isotopic compositions of massive sulfides from modern deep-sea hydrothermal systems: Implications for vent associated ore forming processes, Earth and Planetary Science Letters,2014,396:223-234.
4. Zeng, Z.G., Niedermann, S., Chen, S., Wang, X.Y., Li, Z.X., Noble gases in sulfide deposits of modern deep-sea hydrothermal systems: Implications for heat fluxes and hydrothermal fluid processes, Chemical Geology,2015,409:1-11.
5. Zeng, Z.G., Wang, X.Y., Chen, C.-T.A., Yin, X.B., Chen, S., Ma, Y.Q., Xiao, Y.K., Boron isotope compositions of fluids and plumes from the Kueishantao hydrothermal field off northeastern Taiwan: Implications for fluid origin and hydrothermal processes,Marine Chemistry,2013,157:59-66.
6. Zeng, Z.G., Ma, Y., Yin, X.B., Selby, D., Kong, F.C., Chen, S., Factors affecting the rare earth element compositions in massive sulfides from deep-sea hydrothermal systems,Geochemistry, Geophysics, Geosystems,2015,16:2679-2693.
7. Zeng, Z.G., Ouyang, H.G., Yin, X.B., Chen, S., Wang, X.Y., Wu, L., Formation of Fe-Si-Mn oxyhydroxides at the PACMANUS hydrothermal field, Eastern Manus Basin: Mineralogical and geochemical evidence, Journal of Asian Earth Sciences,2012,60:130-146.
8. Zeng, Z.G., Chen, C.-T.A., Yin, X.B., Zhang, X.Y., Wang, X.Y., Zhang, G.L., Wang, X.M., Chen, D.G., Origin of native sulfur ball from the Kueishantao hydrothermal field offshore northeast Taiwan: Evidence from trace and rare earth element composition, Journal of Asian Earth Sciences,2011,40:661-671.

**主要完成人情况 （按排名先后）：**

曾志刚，排名1，行政职务：无，技术职务：研究员，工作单位：中国科学院海洋研究所，完成单位：中国科学院海洋研究所，对本项目技术创造性贡献：负责项目的总体设计、研究方向和研究内容的确定，指导项目的关键技术创新，对1、2、3项重要科学发现做出了创造性贡献。创建了海底热液地质学，指导研制了声学浊度传感器、热液柱探测设备以及新型海底拖网网具。作为2014年冲绳海槽热液地质过程及其资源环境效应调查航次首席，发现热液活动新区-唐印热液区；建立了自然硫烟囱体和自然硫球等热液产物的形成模式，重建硫化物等热液产物的形成过程，揭示了硫化物等热液产物的物质来源及其控制因素；提出新的热液活动热、质通量计算方法，从硫化物和热液柱角度阐释了热液活动对海底环境的影响机理。论著1、代表性论文2-8的第一作者和通讯作者。

王晓媛，排名2，行政职务：无，技术职务：副研究员，工作单位：中国科学院海洋研究所，完成单位：中国科学院海洋研究所，对本项目技术创造性贡献：对1-3项重要科学发现均有主要贡献。合作研发了海底热液柱探测系统。作为首席科学家于2016年成功完成冲绳海槽热液系统及其资源环境效应调查航次，在唐印热液区发现有流体活动的黑烟囱体群和热液溢流喷口，在第四与那国热液区发现硫磺喷口和出露于沉积物覆盖区的新热液喷口，在八重山地堑附近采集到具有黑色枕状构造的玄武质熔岩。合作开展龟山岛热液流体及热液柱中硼同位素研究，揭示浅海热液流体演化规律，是海底多金属硫化物、Fe-Si-Mn羟基氧化物、自然硫等热液产物形成过程研究的合作者。代表性论文5的第二作者，代表性论文3、4、7和8的合作者。

殷学博，排名3，行政职务：无，技术职务：副高级工程师，工作单位：中国科学院海洋研究所，完成单位：中国科学院海洋研究所，对本项目技术创造性贡献：对1-3项重要科学发现均有主要贡献。合作研发了防腐型高压反应釜、海水气体取样器和ICP-MS氢化物进样系统，研究建立了硫化物、岩石、沉积物、热液生物、海水等多种样品的ICP-MS微量元素测试方法体系，为海底多金属硫化物、Fe-Si-Mn羟基氧化物以及自然硫等热液产物的元素地球化学研究提供了分析测试技术支撑。代表性论文3、5、6、7和8的合作者。

陈 帅，排名4，行政职务：无，技术职务：助理研究员，工作单位：中国科学院海洋研究所，完成单位：中国科学院海洋研究所，对本项目技术创造性贡献：对1-3项重要科学发现均有主要贡献。合作研发了新型海底箱式多管取样器、一种大容量原位流体取样系统和一种深海原位气体保压取样系统，发展了海上调查取样技术。参与了2014年冲绳海槽热液地质过程及其资源环境效应调查航次，为海底硫化物等热液产物调查及新热液区的发现做出重要贡献，是全球海底硫化物中铼、锇、稀有气体同位素和稀土元素研究以及Fe-Si-Mn羟基氧化物形成机理研究的重要合作者。代表性论文3的第二作者，代表性论文4、5、6和7的合作者。

**完成合作关系说明：**

**完成人合作关系说明**

该项目由中国科学院海洋研究所曾志刚、王晓媛、殷学博和陈帅共同完成，所有完成人与第一完成人均有长期密切合作关系。

第一完成人曾志刚与王晓媛、殷学博、陈帅，于2006年合作申请大洋专项项目《海底多金属硫化物成矿对比研究》，于2009年合作申请国家自然科学基金重点项目《东太平洋海隆13°N附近热液产物的化学组成变化及其控制因素研究》；曾志刚与王晓媛、殷学博，于2008年合作申请国家高技术研究发展计划（863计划）项目《海底热液柱TMt（Temperature, Methane, turbidity）探测系统研制》。

曾志刚、陈帅、王晓媛、殷学博合作开展海底硫化物Re-Os元素及其同位素组成特征、龟山岛热液区热液流体演化以及Fe-Si-Mn羟基氧化物形成机制研究，分别于2014年、2013年和2012年发表代表性论著3，5和7。曾志刚、陈帅、王晓媛合作开展海底硫化物中稀有气体同位素组成研究，于2015年发表代表性论著4。曾志刚、殷学博、陈帅合作开展海底硫化物中稀土元素组成研究，于2015年发表代表性论著6。曾志刚、殷学博、王晓媛合作开展龟山岛热液区自然硫球形成过程研究，于2011年发表代表性论著8。

曾志刚、王晓媛合作研发了海底热液柱TMt探测系统、海水温度测量系统及深海耐压舱漏水的远程监测装置，并获得授权发明专利2项。曾志刚、王晓媛、殷学博合作研发了防腐型高压反应釜和高效消解罐，并获得授权发明专利1项和实用新型专利2项。曾志刚、王晓媛、殷学博、陈帅合作研发了海底箱式多管取样器、海水气体取样器、ICP-MS氢化物进样系统、大容量原位流体取样系统和深海原位气体保压取样系统，并获得授权实用新型专利5项。曾志刚、陈帅合作研发了一种新型海底拖网网具，并获得授权实用新型专利1项。

**第一完成人签名：曾志刚**