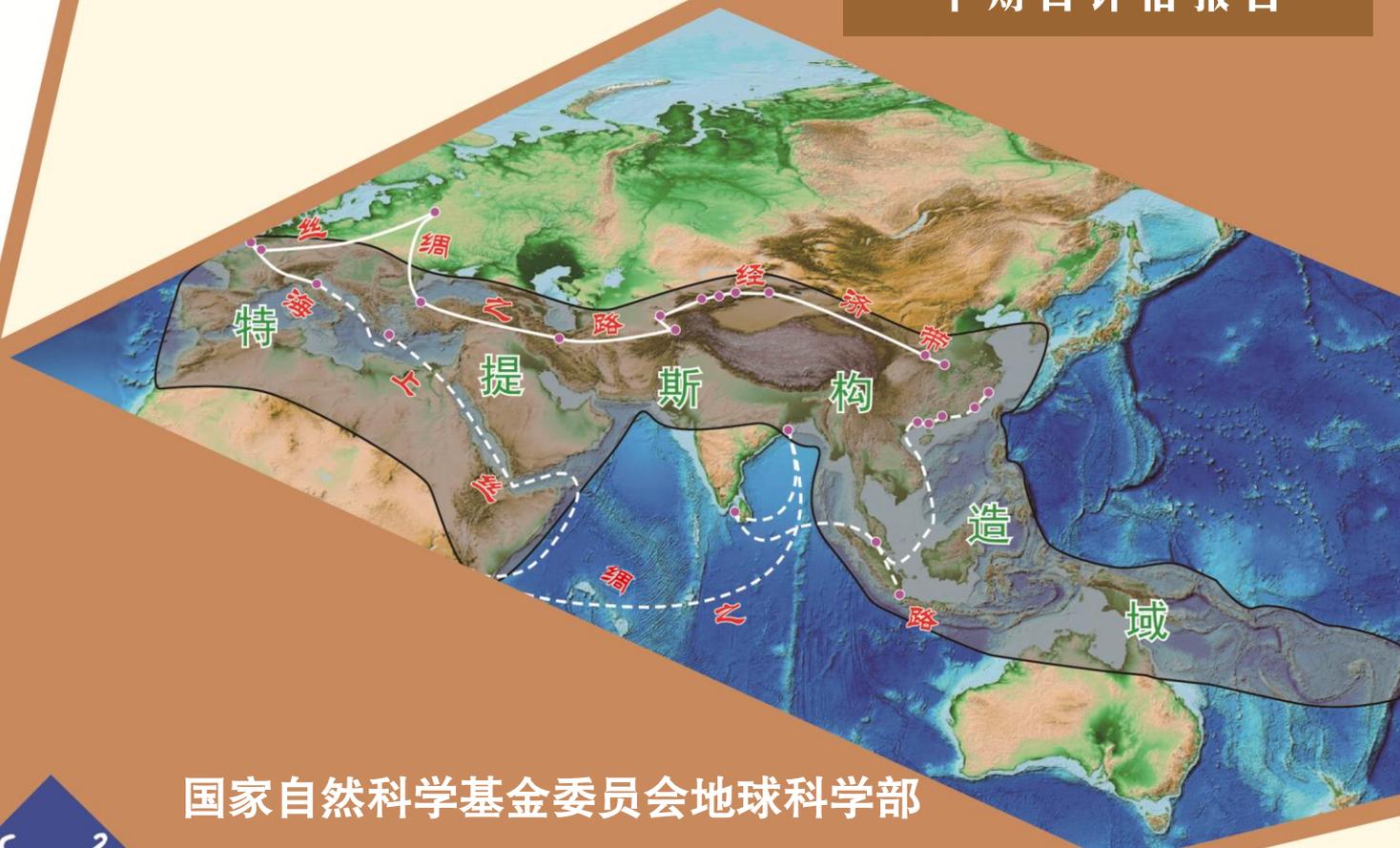


特提斯地球动力系统 重大研究计划

中期自评估报告



国家自然科学基金委员会地球科学部

目 录

一、实施以来的总体情况.....	1
(一) 研究计划概况.....	1
(二) 已资助项目.....	3
(三) 总体进展.....	9
二、重要进展及其影响.....	9
(一) 重要进展.....	9
(二) 产生的影响.....	16
三、根据进展产生的影响对集成的布局思考.....	19
(一) 集成的背景与定位.....	19
(二) 学科集成.....	20
(三) 综合集成.....	21
四、学科交叉情况.....	21
五、重大研究计划的组织特点和管理探索.....	22
(一) 组织特点.....	22
(二) 思考与体会.....	23
六、前期经费使用情况和后期经费安排和需求情况等.....	25
(一) 经费使用情况.....	25
(二) 后期经费安排与需求.....	25

一、实施以来的总体情况

(一) 研究计划概况

1. 概况

研究计划名称：《特提斯地球动力系统》

计划执行期限：2017—2025

计划经费：2 亿

主管科学部：地球科学部

相关学部：数理科学部，信息科学部

指导专家组成员

专家组分 工	姓名	出生年	专业技术 职务	专 业	所 在 单 位
组 长	吴福元	1962	院士	岩石学	中国科学院地质与地球物理研究所
副组长	金之钧	1957	院士	石油地质	北京大学
成 员	丁 林*	1965	院士	大地构造学	中国科学院青藏高原研究所
成 员	杨顶辉*	1963	教授	地球物理学	清华大学
成 员	胡瑞忠*	1958	研究员	矿床学	中国科学院地球化学研究所
成 员	冯庆来	1961	教授	地层学	中国地质大学(武汉)
成 员	李玉龙	1961	教授	固体力学	西北工业大学
成 员	李肯立	1971	教授	计算机科学	湖南大学

*2018 年，胡瑞忠替换侯增谦，陈晓非替换钮凤林；2020 年，杨顶辉替换陈晓非，丁林替换郑永飞

管理工作组成员

管 理 工作组	姓名	专业技术 职务	专 业	所 在 单 位
组 长	于 晟	研究员	地球物理	地球科学部
成 员	姚玉鹏	研究员	地质学	计划与政策局
成 员	刘 羽	研究员	地层古生物学	地球科学部
成 员	李 薇	研究员	地球化学	地球科学部
成 员	邹立尧	研究员		国际合作局
成 员	张兆田	研究员	计算机科学	信息科学部
成 员	董国轩	研究员	固体力学	数理科学部
成 员	任建国	研究员	地质学	地球科学部
成 员	熊巨华	研究员	地理科学	地球科学部

2. 研究计划的定位

本研究计划的总体定位：**走出国门，贡献世界，研究世界的地质，思考中国的问题，做到引领科学前沿，服务国家战略。**在地球形成的46亿年历史中，巨大的特提斯洋盆的形成和消失是地球沧海桑田的典例。冈瓦纳大陆裂解出来的陆块相继与欧亚大陆碰撞，形成巨型纬向特提斯构造域，与经向环太平洋构造域一起共同构成“现代地球上最显著的两大造山系”。特提斯的演化与全球构造演化密不可分。“特提斯地球动力系统”是一个具有重大科学意义的命题，是当代中国不同领域的地球科学家走上国际研究制高点的绝佳平台，是中国从地球科学大国走向地球科学强国的新起点。它将受到全球地球科学家的高度瞩目，并将对全球地球科学发展产生重大影响。

3. 科学目标

(1) 总体科学目标

《特提斯地球动力系统》重大研究计划的宗旨是从当代地球科学发展趋势和国家重大需求出发，充分发挥特提斯构造域在地球科学发展中的地域优势，提炼和把握制约当前板块构造理论发展的重大科学问题，进行多学科综合研究。

《特提斯地球动力系统》重大研究计划的总体科学目标是：高度集成地质学、地球物理学和地球化学的分析技术及探测手段，通过特提斯域内洋陆变化与圈层相互作用研究，明确特提斯构造域形成演化的动力学原因，揭示板块构造的驱动机制；分析域内重要矿产资源与能源的分布与形成规律，为我国资源能源战略提供科学支撑；通过广泛的国际合作，建立与“一带一路”地缘国良好的科技合作关系，为“一带一路”国家战略提供重要科学支撑。

(2) 分阶段科学目标

由于特提斯构造域内地质现象丰富且复杂，《特提斯地球动力系统》重大研究计划将围绕总体科学目标分阶段实施，详情如下：

第一阶段目标：块体属性、裂解与拼合历史及相应深部结构

特提斯构造域各部分的研究资料积累极不均衡，严重阻碍了对特提斯演化全局性、整体性的把控。尤其是中部土耳其-伊朗地区和东部缅甸等关键地块体属性的厘定极其缺乏，块体裂解与拼合历史的研究也十分薄弱。因此，本计划的第一阶段目标是重点关注特提斯构造域内的上述关键研究区，确认基梅里大陆是否从东到西稳定存

在，并厘定它们是否都是冈瓦纳大陆的组成部分；研究不同块体从冈瓦纳大陆裂解的时间及漂移过程，及后来与其它块体的拼合时代与过程。同时，开展地球物理深部结构与深部过程的探测研究。

第二阶段目标：“南裂北聚”过程中的资源效应

特提斯构造域各部分的资源分布极不平衡。在厘清各关键区段演化历史的基础上，本阶段主要分析各块体物质组成及其聚散过程对矿产资源、油气资源的控制作用，明确特提斯成矿域的特色与本质，为国家未来资源配置提供科学依据。

第三阶段目标：不同造山阶段演化特征及四维地球动力学构建

特提斯构造域各部分保存有从大陆裂解到汇聚过程中不同程度、不同方式裂解-汇聚的完整过程。因此本阶段的主要工作是深入认识特提斯构造域不同演化阶段的演化特征及其表层响应，构建大陆聚散的时、空演化完整过程，揭示特提斯构造域形成演化的动力学机制，综合特提斯构造域演化与全球板块运动的动力学过程，力争在板块驱动力、板块构造产生机制与板块“登陆”等方面取得理论突破。

4.核心科学问题

本研究计划拟解决核心科学问题：地球多陆块单向聚合动力学

要回答上述核心科学问题，必须解决下列三个关键科学问题：

- (1) 板块边界起始形成的判别
- (2) 多陆块单向裂解-聚合过程
- (3) 多陆块单向裂解-聚合过程的资源响应

(二) 已资助项目

1.受理申请

《特提斯地球动力系统》重大研究计划实施4年以来，共受理申请项目数为219项，资助57项，总资助率为26%。其中培育项目8项，重点（集成）项目49项，总计57项。具体情况如下：

- ① **2017年**：申请72项，资助15项，资助率为20.8%；
- ② **2018年**：申请71项，资助17项，资助率为23.9%；
- ③ **2019年**：申请43项，资助11项，资助率为25.6%；
- ④ **2020年**：申请33项，资助14项，资助率为39.4%；

2. 已资助项目

《特提斯地球动力系统》重大研究计划实施4年以来,按照完成科学目标的需要,布局了培育类、重点类及集成类项目共57项,资助总经费为1.5298亿元。其中地球动力学方向项目36项,资源能源类项目16项以及古环境类5项(具体见下表),其中研究区域涉及境外的项目共计28项(澳大利亚、东帝汶(帝汶岛)、越南、泰国、缅甸、不丹、尼泊尔、巴基斯坦、伊朗、阿曼、土耳其、法国、意大利、奥地利等),国内优势地学研究机构 and 高校都参与了本重大研究计划资助的项目,一大批不同学科的地球科学、计算科学、大数据科学的专家参加了重大研究计划的实施。目前本研究计划共有28个参与单位,342名项目骨干人员(未统计参加项目的研究生),其中海外学者13人,海外单位10个。



已资助项目分布图

资助项目清单[2020]

负责人	单位	类别	项目名称	项目编号	备注
喻建新	中国地质大学(武汉)	重点	特提斯演化过程中火山活动对古、中生代之交的陆海生产者及其环境的影响	92055201	古环境
曾令森	中国地质科学院地质研究所	重点	喜马拉雅造山带中生代岩浆作用与印度大陆北缘构造动力学过程	92055202	地球动力学/境外
朱伟林	同济大学	重点	南亚-东南亚特提斯演化的油气资源效应	92055203	能源/境外
刘可禹	中国石油大学(华东)	重点	特提斯构造域中东部典型前陆盆地形成演化机制与	92055204	能源

特提斯地球动力系统重大研究计划

			油气富集效应		
黄宝春	北京大学	重点	特提斯构造域中-东段多陆块单向裂解过程的古地磁制约研究	92055205	地球动力学
杨天南	中国地质科学院地质研究所	重点	定量、半定量重建扎格罗斯造山带的新特提斯洋-陆俯冲过程	92055206	地球动力学/境外
彭头平	中国科学院广州地球化学研究所	重点	滇缅接壤区特提斯洋的扩张方式及其时空演化：古-中生代岩浆和沉积作用约束	92055207	地球动力学/境外
刘希军	桂林理工大学	重点	早-晚古生代地幔DUPAL组成演变与特提斯域陆块北向汇聚机制	92055208	地球动力学
赵子福	中国科学技术大学	重点	古特提斯俯冲带壳幔相互作用与造山带镁铁质火成岩成因	92055209	地球动力学
Hans Jensen Thybo	中国地质大学(武汉)	重点	中段特提斯地球动力学：安纳托利亚岩石圈结构的综合地球物理研究	92055210	地球动力学/境外
栾锡武	青岛海洋地质研究所	重点	孟加拉湾东北部沉积过程与特提斯东段构造变形耦合关系	92055211	地球动力学/境外
赵来时	中国地质大学(武汉)	重点	环古特提斯洋地区中二叠世至晚三叠世极端气候环境和火山作用及其生物响应驱动机制	92055212	古环境/境外
唐卓	湖南大学	重点	特提斯演化过程仿真计算大数据处理平台研究与应用	92055213	地球动力学
李文昌	中国地质调查局成都地质调查中心	集成	特提斯构造域地质构造编图及区域对比研究	92055314	地球动力学

资助项目清单[2019]

负责人	单位	类别	项目名称	项目编号	备注
王向东	南京大学	重点	晚古生代基默里区的生物演化与环境演变过程	91955201	古环境/境外

特提斯地球动力系统重大研究计划

宋述光	北京大学	重点	祁连-昆仑构造域原特提斯洋形成演化及全球意义	91955202	地球动力学
许志琴	南京大学	重点	川西古特提斯域伟晶岩型锂矿床的构造成因与成矿机制	91955203	资源
王 剑	西南石油大学	重点	东特提斯演化在羌塘盆地的沉积响应及能源效应	91955204	能源
刘俊来	中国地质大学(北京)	重点	滇西-巽他原特提斯构造、演化与动力学	91955205	地球动力学/境外
李亚林	中国地质大学(北京)	重点	雅鲁藏布江缝合带中西段与帝汶岛对比研究: 微地块在新特提斯洋演化中的作用	91955206	地球动力学/境外
杨志明	中国地质科学院地质研究所	重点	后碰撞环境斑岩铜矿的形成机制: 以西藏冈底斯带为例	91955207	资源
李光明	中国地质调查局成都地质调查中心	重点	西藏喜马拉雅带错那洞钽稀有金属矿巨量富集机制研究	91955208	资源
毕献武	中国科学院地球化学研究所	重点	陆内斑岩型矿床岩浆源区特征和岩浆物理化学条件: 以金沙江-哀牢山-范士版喜山期斑岩为例	91955209	资源
袁怀玉	中国科学院地质与地球物理研究所	重点	从西北澳到东特提斯域多尺度岩石圈结构成像	91955210	地球动力学/境外
孟庆任	中国科学院地质与地球物理研究所	集成	特提斯构造域陆块裂解-聚合过程	91955311	地球动力学

资助项目清单[2018]

负责人	单位	类别	项目名称	项目编号	备注
褚 杨	中国科学院地质与地球物理研究所	培育	板缘碰撞的陆内响应: 伊朗Alborz造山带新生代构造演化	91855103	地球动力学/境外
赵俊兴	中国科学院地质与地球物理研究所	培育	土耳其西部斑岩型矿床的深部过程对新特提斯洋俯冲到陆-陆碰撞过程的响应	91855102	资源/境外

特提斯地球动力系统重大研究计划

王立成	中国地质科学院矿产资源研究所	培育	东特提斯域白垩纪中期思茅-呵叻海及其与巨量钾盐形成的关系	91855104	资源
阎 贫	中国科学院南海海洋研究所	培育	南沙腹地隐伏背斜构造的成因及对古南海的指示	91855101	地球动力学
张以春	中国科学院南京地质古生物研究所	重点	拉萨地块与相邻地块二叠纪古生物地理对比研究	91855205	古环境
刘福来	中国地质科学院地质研究所	重点	古特提斯-新特提斯复杂演变过程中多期变质事件的性质及其对洋(陆)-陆碰撞造山的制约	91855206	地球动力学
万 博	中国科学院地质与地球物理研究所	重点	俯冲-碰撞转化带板片深部形态与地质响应	91855207	地球动力学/境外
李忠海	中国科学院大学	重点	新特提斯洋起始张开与起始俯冲的动力学数值模拟	91855208	地球动力学
王汝成	南京大学	重点	喜马拉雅淡色花岗岩稀有金属成矿作用研究	91855209	资源
张泽明	中国地质科学院地质研究所	重点	冈底斯岩浆弧东段的变质-深熔-岩浆作用:大陆地壳的生长与再造	91855210	地球动力学
吴汉宁	西北大学	重点	青藏高原古-新特提斯洋转换阶段关键地块裂解-汇聚过程的古地磁约束	91855211	地球动力学
林 伟	中国科学院地质与地球物理研究所	重点	古特提斯东部构造演化-以越北及邻区为例	91855212	地球动力学/境外
孙晓明	中山大学	重点	特提斯构造域碰撞造山带型金矿成矿机制	91855213	资源
宋玉财	中国地质科学院地质研究所	重点	陆-陆碰撞褶皱逆冲带内MVT 铅锌成矿作用:青藏高原与札格罗斯造山带对比研究	91855214	资源/境外
王 强	中国科学院广州地球化学研究所	重点	青藏高原中北 Sn 波不发育区地幔演化及深部过程	91855215	地球动力学
杨振宇	首都师范大学	重点	印度-亚洲碰撞过程拉萨地块和特提斯喜马拉雅地体的运动学研究	91855216	地球动力学/境外

特提斯地球动力系统重大研究计划

邓 军	中国地质大学 (北京)	重点	西南三江昌宁-孟连缝合带复合造山演化与成矿系统时空结构	91855217	资源
-----	-------------	----	-----------------------------	----------	----

资助项目清单[2017]

负责人	单位	类别	项目名称	项目编号	备注
翟庆国	中国地质科学院地质研究所	培育	古特提斯洋开启阶段构造岩浆事件研究:以藏北羌塘中部为例	91755103	地球动力学
戚学祥	中国地质科学院地质研究所	培育	滇西高黎贡东南缘混杂岩带与班公湖-怒江缝合带的南向延伸	91755101	地球动力学
张志勇	中国科学院地质与地球物理研究所	培育	伊朗莫克兰造山带西段增生过程重建:对新特提斯洋构造演化的制约	91755102	地球动力学/境外
白国平	中国石油大学 (北京)	培育	特提斯域构造沉积演化对源盖关键成藏要素的控制作用及其油气富集响应	91755104	能源/境外
刘永江	中国海洋大学	重点	原特提斯洋和古特提斯洋重建:东阿尔卑斯基底杂岩研究	91755212	地球动力学/境外
朱弟成	中国地质大学 (北京)	重点	中生代冈底斯弧的岩浆成因与地壳演化	91755207	地球动力学/境外
苏本勋	中国科学院地质与地球物理研究所	重点	土耳其南部蛇绿岩和变质底板对新特提斯洋俯冲起始的构造学、年代学和地球化学制约	91755205	地球动力学/境外
胡修棉	南京大学	重点	大陆碰撞与特提斯洋消亡的沉积响应	91755209	地球动力学/境外
蒂姆 柯斯基	中国地质大学 (武汉)	重点	大陆碰撞侧向逃逸和初始板块边界的形成	91755213	地球动力学/境外
张立飞	北京大学	重点	中喜马拉雅 (中国-尼泊尔-不丹) 榴辉岩带的岩石学特征、PTt 轨迹及其大地构造意义	91755206	地球动力学/境外
王绪本	成都理工大学	重点	东特提斯三江构造带深部结构形态与属性特征研究	91755215	地球动力学
姜明明	中国科学院地质与地球物理研究所	重点	印缅洋陆俯冲交汇区的深部结构探测研究	91755214	地球动力学/境外
赵葵东	中国地质大	重点	东南亚特提斯构造岩浆演	91755208	资源/境外

特提斯地球动力系统重大研究计划

	学（武汉）		化及锡钨成矿响应		
何治亮	中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院	重点	特提斯域内大陆单向裂解-聚合过程中的油气大规模富集效应	91755211	能源/境外
陈代钊	中国科学院地质与地球物理研究所	重点	古生代扬子地块有机质幕式超常富集、资源效应与古特提斯演化过程中地圈-生物圈相互作用	91755210	古环境

（三）总体进展

地球自5亿年以来，大量陆块从南方的冈瓦纳大陆不断裂解，相继形成原、古、新特提斯大洋。这些陆块随后陆续漂向北方的劳亚大陆，并与之发生多期次碰撞拼合，形成全球最显著的大陆碰撞造山带，又称特提斯构造域。《特提斯地球动力系统》重大研究计划将上述过程比喻为特提斯“单程列车”，该重大研究计划针对上述现象的过程和机制开展深入研究，通过揭示板块驱动力问题从而填补板块构造理论的短板，通过建立地球深部和表层生物-环境协同演化及其资源效应的关键纽带从而丰富地球系统科学的内涵，通过理论创新指导下的战略资源版图扩张助力国家重大资源需求与资源安全，通过一批高水平学术成果和快速成长的人才队伍建设特提斯中国学派，提升中国地球科学的国际影响力。

二、重要进展及其影响

（一）重要进展

1. 厘定特提斯单向裂解汇聚的动力过程与关键环节

重新审视特提斯构造域陆块裂解-拼合历史、高分辨率的地球物理结构特征，以及大陆裂解和俯冲起始的地质记录、并结合定量化的动力学数值模拟，系统厘定四个关键环节：（1）构造域内不同块体，（2）初始板块边界形成标志与时限，（3）特提斯深部物理、化学过程的关键特征，（4）特提斯演化动力学模式与机制，论证特提斯大洋板片向欧亚大陆的俯冲作用是驱动这些陆块单向漂移的“引擎”，提出大洋板块的北向俯冲是大陆块体从冈瓦纳裂解并陆续向欧亚大陆汇聚拼合的关键要素。

冈瓦纳大陆的属性判定是特提斯地质研究的前提。特提斯域内某块体是否与冈瓦纳

大陆存在亲缘关系，是重塑其地质演化历史的重要资料。通过大量对比研究发现新元古代末期至早古生代早期的两期岩浆事件（800~650Ma、560~520Ma）是冈瓦纳边缘块体的特征性年龄频谱，从而确定欧亚大陆内特提斯构造域的小块体普遍具有冈瓦纳大陆的属性，并且冈瓦纳块体向北延伸至塔里木和华北克拉通南缘。其次冈瓦纳大陆在古生代曾发育多次冰期事件，分别发生在晚奥陶世末-早志留世(赫南特冰期，~430Ma)、晚泥盆世-早石炭世和晚石炭世-早二叠世。其中尤以石炭-二叠纪冰期(340~280Ma)规模大、影响范围广，也由于此次冰期的影响，冈瓦纳大陆发育以冷水腕足类和双壳类为代表的冷水生物群，以及以舌羊齿植物群为代表的温凉植物群，与特提斯华夏区的温暖水生物群形成显著差别。上述诸点是目前判定特提斯构造域内各块体属性的重要依据，对特提斯洋的开启与分布限定有重要价值。

初始板块边界形成标志与时限。特提斯单向裂解汇聚过程涉及大陆不断裂解（离散板块边缘形成）与大洋的多次俯冲起始（汇聚板块边缘的形成）。以往的研究将俯冲后撤产生的岩浆记录或地幔柱大火山岩省产生的岩浆记录作为冈瓦纳大陆裂解的标志。通过重大研究计划的研究发现岩浆量的多少与岩浆的属性均不能作为判定大陆裂解的标志与原因。大陆裂解能够产生的岩浆量取决于裂谷形成的宽度，对于特定的地幔温度，较宽的被动陆缘总是会产生过多的岩浆。此外，正常地幔温度足以产生大陆裂解时的岩浆型被动陆缘，无需引入地幔柱的额外高温，造成高度部分熔融。大陆裂解的标志应以该区最古老的深海沉积记录为准。另一方面，俯冲起始如何启动以及在哪个位置启动是当前研究的难点。研究表明块体碰撞诱发的俯冲启动是特提斯演化过程中的普遍现象，具体表现为晚泥盆世的古特提斯洋俯冲启动晚于早泥盆世的原特提斯洋闭合、侏罗纪的新特提斯洋俯冲起始晚于古特提斯洋的三叠纪闭合，以及始新世的印度洋的俯冲起始晚于新特提斯洋的古新世闭合。被动陆缘在弱化的情况下容易发生碰撞诱发的俯冲起始，不同于现今成熟的大西洋被动陆缘；俯冲启动的标志当以最古老的弧岩浆作用以及最古老的高压变质作用为主。

特提斯深部物理、化学关键特征。高分辨率的地球物理探测最新资料清晰显示特提斯造山带下方俯冲的大陆地壳与大洋板片的特征，在无岩浆弧发育的阿尔卑斯地区俯冲大陆地壳上盘的弧前位置堆叠了大量的蛇纹岩，指示该地区俯冲的板片本身不发育洋壳，能脱水的物质无法俯冲到弧下深度，因此不足以产生岩浆弧。相反，在缅甸等地区发育广泛的弧岩浆作用；并且缅甸地区的图像显示上地幔存在多个残存的俯冲大洋板片，能

够与新特提斯的俯冲历史一一对应，为俯冲驱动的特提斯演化历史提供了扎实的地球物理资料。通过特提斯不同期次蛇绿岩中铅同位素的研究发现，特提斯蛇绿岩与现今印度洋的地幔源区高度一致，不同于太平洋地幔。该特征指示特提斯大洋的演化历史与现今印度洋类似。多期次的大陆裂解导致大量难熔古老地壳物质循环进入地幔，因此这种地幔以慢速扩张洋脊为主，洋壳不发育或少发育。特提斯内的蛇绿岩普遍具有慢速扩张洋的特征，通过钕同位素的研究的确证实特提斯蛇绿岩内普遍含有较为古老的再循环物质。

特提斯演化动力学模式与机制。大洋俯冲作用是特提斯演化的关键驱动力。一方面，俯冲大洋拖拽可导致远端大陆裂解；具体而言，当洋中脊俯冲之后（如古特提斯~350Ma的洋中脊俯冲事件），大洋板片向欧亚大陆的持续俯冲作用，使得处于大洋另一侧的冈瓦纳大陆被动陆缘在260Ma发生裂解，进而形成新特提斯洋。综合地质观测和系统的数值模型及力平衡分析，发现尽管俯冲诱发的上盘弧后扩张和下盘远端拉伸存在竞争关系，但是当流变强度等关键参数相当时，俯冲拖拽的远端拉伸将对大陆边缘裂解产生更大作用。因此在特提斯单向俯冲的情况下，俯冲拖拽的被动大陆边缘裂解是一种常被忽视的重要模式，它不同于以往的地幔柱诱发的大陆裂解或者弧后扩张模型。另一方面，块体碰撞诱发的俯冲带跃迁是特提斯构造域演化的关键要素。在此基础上开展的动力学模拟揭示远程的板块构造作用力是触发俯冲起始的关键要素，而洋内的转换断层或被动陆缘都很难在板块自身重力驱动下自发的俯冲起始。依据数值模型与观测实例的深度融合，厘清正常板块构造的推动力下，年轻的大洋岩石圈可在被动陆缘发生俯冲起始，而古老的稳定被动陆缘很难发生俯冲起始，即使在其间已经存在局部小俯冲带的情况下，仍然需要自身的弱化及局部俯冲板块较大的拉力。基于上述系统约束，揭示在特提斯演化过程中一系列洋中脊俯冲和地体的碰撞，分别是导致大陆裂解及俯冲带跃迁的控制因素。因此，长时间尺度的、自南向北的板块漂移和板块俯冲牵引作用对于特提斯系统中新的离散板块边缘和新的汇聚板块边界的形成均具有重要意义。俯冲起始之后的板块拉力可进一步提供板块汇聚的驱动力，从而维持特提斯构造域定向的板块运动并形成多期次的威尔逊旋回。

2. 特提斯古地理控制古生物与古环境协同演化

在原、古、新特提斯的大洋单向俯冲背景下，陆块群单向漂移的古地理格局变动，引发重大的古生物群与古环境变化，其中二叠纪时期是古/新特提斯演化过程中的关键时间段，该时间段内发生了基梅里陆块裂解漂移、晚古生代大冰期消亡、二叠纪末期的生

物大灭绝等，但新特提斯洋的开启与延伸及古特提斯闭合的格局等关键问题尚未有明确限定，不能为二叠纪时期的环境变化给予准确的时空格架限定。

新特提斯洋开启时间。研究发现整个拉萨地块从早二叠世晚期至晚二叠世，古生物地理逐渐由冷水区系向暖水区系过渡；但相比之下，喜马拉雅地区整个二叠纪地层中古生物地理仍以冷水动物群为主，而拉萨地块和喜马拉雅的变化模式显然不同，这显示拉萨地块的裂解和向北漂移是主因。对比拉萨地块和南羌塘地块多个地区剖面，认识到拉萨地块晚古生代冰期以后普遍由冰碛岩向碳酸盐岩稳定转变，整个地块保持一致；而南羌塘地块二叠纪地层展示了东西向的不稳定性，西侧存在二叠系内部较大不整合面；而东侧是含多层玄武岩夹层的碳酸盐的复杂沉积相。此外，古生物地理上南羌塘地块暖水动物群出现的时间明显早于拉萨地块，空谷期暖水动物群在南羌塘普遍出现，但在拉萨未见。南羌塘和拉萨在二叠纪地层层序和古生物地理的差异性揭示班怒洋在中二叠世之前打开。通过古生物向东追踪，发现该洋盆经高黎贡山南下缅甸后沿着掸邦高原最西缘南下并沿着泰国西部 Three Pagodas 断层至马来西亚，古生物证据表明新特提斯洋北支（班公湖-怒江）的打开时间在空谷晚期（约 276Ma）以前。综合众多古生物地理的研究共同揭示新特提斯洋于中二叠世以前打开。

古特提斯洋晚二叠世圈闭及其对生物环境的影响。通过北羌塘地块热觉茶卡、昌都地区的剖面研究，并结合唐古拉、杂多地区的地层资料，揭示从中二叠世晚期开始，北羌塘地块逐渐受到挤压作用，内部的裂谷逐渐关闭；晚二叠世是北羌塘地块重要的地层记录转换期，整个北羌塘地块和思茅地块不整合覆盖一套含有 *Palaeofusulina* 蛭类动物群和 *Gigantopteris* 植物群为代表的海陆交互相地层，代表了金沙江-哀牢山洋在此时正在开始由东向西剪刀式碰撞闭合，并逐渐形成半封闭环境。特提斯构造域二叠纪末期至三叠纪初期汞富集事件，进一步支持特提斯构造域该时期存在强烈的火山活动和海洋化学恶化进程。所以，根据本计划研究认为，古特提斯持续的闭合事件造成了洋盆从开阔海向封闭海的转变，广泛的特提斯弧火山作用加剧了古海洋环境恶化和古气候变化，而不是前人认为的西伯利亚地幔柱火山作用为二叠纪末期环境恶化的主控因素。这些构造、环境因素共同促成了二叠纪末期海洋生物大灭绝事件的发生，形成了以特提斯构造域二叠纪-三叠纪之交为代表的古构造、古地理、古环境与古生物协同演化典型特征。

3. 特提斯演化背景下的古环境突变与油气资源超常富集规律

长期处于低纬度地区和板块单向裂聚过程中广泛发育的面向大洋的稳定陆缘盆地是特提斯域优质烃源岩发育和油气富集的关键。本计划在对特提斯域志留系和白垩系两套优质烃源岩的发育机理进行系统研究的基础上，提出环境突变背景下海平面发生变化，以及大陆边缘形成的上升洋流扰动、广泛的火山喷发和局部缺氧控制等共同造成的生物灭绝和有机质埋藏为稳定的陆缘盆地提供了丰富的油气资源原材料。

晚奥陶世末-早志留世冰期(赫南特冰期, ~430Ma)与特提斯油气富集。冰期前后的海平面变化、中低纬度大陆边缘形成的上升洋流、广泛的火山喷发和局部缺氧是志留系有机质超常富集的主要原因：奥陶纪-志留纪转折期是一个重要的地质历史时期，研究发现这个时期全球板块构造形态、古气候条件、古海洋氧化还原条件、生物群类型等都发生了巨大的改变。全球大多中低纬度的板块发育相似或相同的浅海底栖型动物，并伴随着间冰期大规模的海侵事件在全球范围内沉积了一套暗色富有机质碎屑岩。笔石地层对比揭示，特提斯域下志留统优质烃源岩主要产出层位惊人的一致，都产自相当于扬子区笔石带的层位。该套烃源岩在北非被称为“热页岩”(Hot shale)，为奥陶纪晚期冰期之后的海平面上升背景下的陆棚、海湾或陆表海的沉积产物。在北非和中东发现了大量以该套页岩为烃源岩的特大型和巨型油气田。该套烃源岩在我国扬子区与下志留统龙马溪组相对应，是目前我国南方数万亿方探明储量页岩气的主力产层。除此之外，奥陶纪冰期前后，我国南方还发育上奥陶统五峰组优质烃源岩。牙形石氧同位素证据表明晚奥陶世的气温逐渐下降，在赫南特早期达到最小值，这与海相碳酸盐岩的团簇同位素证据相一致，指示赫南特冰期热带表层海洋温度下降了超过 5°C。全球气温的降低直接导致了海平面的降低，下降幅度可以达到 50-100m，这一海平面的降低影响了低纬度沉积岩的岩相类型，即从深水的黑色泥岩转变为浅水相的介壳灰岩。同时气候变冷加大了极地-赤道的温度梯度，导致更强烈的大洋循环，在大陆边缘形成了广泛的上升洋流。扬子地区典型剖面的笔石生物地层研究表明，冰期温度的突变正好对应两次生物绝灭，因而冰期开始时骤降的气温与冰期结束时显著升高带的气温是导致海洋生态结构毁灭的重要机制。黄铁矿中硫同位素研究揭示，整个扬子海的水体的硫化水体扩张时间正好对应于两次生物灭绝时间。海平面的升高导致了硫化水体的出现，而缺氧硫化水体直接导致了大量表层海洋和浅水底栖需氧生物的死亡，这一海洋持续硫化缺氧机制是优质烃源岩发育的重要原因。中东-北非地区奥陶纪末期冈瓦纳大陆冰盖对基底进行刨蚀作用，叠加在泛非运

动造成的基底剥蚀面之上，形成了许多大型的冰蚀凹地/盆地。随着冰消后的快速全球海平面上升，海水淹没了这些冰蚀盆地，形成了相对封闭的海盆，而冈瓦纳大陆西北缘上升洋流又为封闭海盆提供了丰富的营养物质，促进了有机质的超常聚集和保存。

白垩纪温室地球与特提斯油气富集。与冰期极端环境相反的温室地球的极端环境，同样能够造成巨量有机质堆积，以特提斯域白垩系有机质异常富集最为典型。白垩系烃源岩在全球均有分布，特别是在特提斯域广泛发育。全球 60% 以上的烃源岩均形成于白垩纪，并产出了全球近 40% 的油气资源，主要分布在中东地区。白垩纪时期，全球板块运动十分活跃，泛大陆解体后，南美洲、非洲、澳大利亚、印度等陆块各自向不同的方向漂移，全球海陆格局随之发生巨大变化，同时伴随着大火成岩省的活动。火山岩浆活动释放出大量的 CO_2 、 CH_4 等温室气体，形成温室气候，同时导致海水温度升高，从而降低海水表层的氧气溶解度，造成大洋缺氧。而且火山灰中含有丰富的易溶性铁盐等营养物质，促进了浮游藻类爆发性生长，耗氧量也随之增加，进一步加剧了大洋缺氧。海洋表层水体中浮游藻类勃发与海洋大范围缺氧非常有利于有机质被大量保存，形成富有机质的黑色页岩。

4. 特提斯特色的世界级“还原性”成矿系统形成机制

在长期处于低纬度地区和板块单向裂聚过程中，陆缘盆地保存了特提斯域优质烃源岩，与此同时广袤的特提斯洋盆在此高生产力环境下，同样接受了大量生物遗迹使得洋壳整体富含有机质。单向俯冲背景下，富有机质洋壳俯冲是特提斯演化的重要区域背景。特提斯域内矿化最显著特征是俯冲期成矿作用发育不良，碰撞成矿作用强烈发育，通过对域内俯冲碰撞作用上盘和俯冲盘内的典型矿床类型开展的综合研究获得如下认识：

还原性弧岩浆作用导致俯冲期斑岩矿床发育不良，但碰撞斑岩铜矿显著发育。特提斯域成矿区别于安第斯成矿带显著的特征是俯冲过程中的斑岩矿床发育不良，主要与该成矿域的弧岩浆相对还原有关。通过藏南地幔包体及超钾质岩的矿物学及矿物化学研究，揭示藏南中新世斑岩成矿时上地幔绝对氧逸度 $\log f\text{O}_2$ 平均高达在 -5 左右， $\text{FMQ} +0.5 \sim +1.2$ ，是印度大陆大规模俯冲交代所致，碰撞时岩石圈地幔及幔源岩浆高氧逸度特征，有利于壳幔交互过程中 Cu、S 等成矿物质从深部到浅部地壳的迁移，这是青藏高原后碰撞斑岩铜矿大量发育的关键；当然，斑岩岩浆性质、硫化物饱和不混溶时机、基性岩浆注入与否也会影响矿床的金属组合及规模大小。但是俯冲期由于富有机质的洋壳俯冲，抑制了弧岩浆向高氧逸度方向发展，造成了古特提斯和新特提斯俯冲期普遍缺乏世界级

斑岩型矿床的形成。

还原性弧岩浆作用及钨锡成矿。特提斯是世界上最重要的锡钨矿产地，通过锡石和黑钨矿原位U-Pb同位素定年确定主要锡钨矿床形成于226–200Ma，125–110Ma，90–85Ma，70–60Ma和50–42Ma若干时间段内。在钨锡花岗岩带西侧的西缅地块上，主要发育弧岩浆岩，形成于约130–13Ma间，其中110–90Ma是最主要的弧岩浆岩发生时期，伴生少量斑岩型矿化。尽管锡钨花岗岩与弧岩浆岩形成时代一致，但两者的源区和成因类型完全不同。锡钨花岗岩主要为S型花岗岩，主要源自Sibumasu地块成熟地壳物质的部分熔融，无地幔物质的加入，且锡钨花岗岩的氧逸度也明显低于弧岩浆岩，绝对氧逸度 $\log fO_2$ 平均在-20左右仅能达到FMQ到NNO之间，远低于形成斑岩铜矿的岩浆氧逸度范围。

被动陆缘铅锌矿与沥青伴生。特提斯域是世界碳酸盐岩容铅锌矿最主要的地区，主要产于岩溶构造、礁相构造、同沉积角砾构造和高孔隙白云岩中。通过典型矿床（金顶）研究发现盐底辟构造是最重要储矿构造，特提斯洋长时间在低纬度的停留，导致巨厚膏盐层及碳酸盐岩的广泛发育。研究发现与矿石伴生的沥青都来自兰坪盆地三叠系海相地层，在成矿之前，大量细菌硫酸盐还原作用（BSR）形成的 H_2S 已存在于金顶穹隆，形成含 H_2S 的古油气藏。在成矿早期阶段，含大量 Zn^{2+} 、 Pb^{2+} 等金属元素的热液流体与含 H_2S 的古油气藏相遇，导致闪锌矿及方铅矿等快速沉淀，形成细颗粒浸染状矿石。在成矿晚期阶段，热化学还原反应将硫酸根还原成 S^{2-} ，有机质被蚀变成固体沥青，形成粗颗粒及条带状硫化物。正是由于有机质的存在，才使得大量硫酸根被还原为 S^{2-} ，为金顶超大型铅锌矿床的成矿提供了必要的成矿物质。在详细评估有机质对硫化物Re-Os定年影响的基础之上，提出了一套富有机质环境中硫化物Re-Os定年方法，获得金顶矿床高精度黄铁矿成矿年龄为 51 ± 1 Ma（MSWD=3.2）

被动陆缘还原性沉积物熔融形成富稀有金属花岗岩及相关矿床。特提斯被动陆缘同样广泛富有机质，特别是炭质泥岩；这些沉积岩碰撞过程中发生部分熔融形成富稀有金属花岗岩或伟晶岩，并最终形成稀有金属矿床。在此背景下，聚焦喜马拉雅地区开展详细研究，首次在二云母花岗岩中发现了绿柱石成矿作用，结合区域研究建立喜马拉雅稀有金属成矿序列，揭示热液阶段是铍超常富集的重要阶段；在普士拉发现了喜马拉雅地区第一个锂辉石/透锂长石伟晶岩成矿区，并进一步厘定相邻的前进沟、热曲均具较好的锂成矿现象，确定了珠峰地区是具有重大成矿潜力的锂成矿区，进而确定喜马拉雅淡色

花岗岩带是世界级的稀有金属成矿带，是新确定一条世界级的稀有金属成矿带，能够成为国家重要战略资源储备地。基于矿床中的铌铁矿、锡石等代表性矿物的定年，厘定了喜马拉雅稀有金属成矿时代最早起始于~34–33Ma，大量发生于~25–24Ma和~17–16Ma两个阶段，是富有机质印度被动大陆边缘俯冲变质的产物。

(二) 产生的影响

特提斯构造演化已成为中国固体地球科学研究的一个重要内容。早期中国科学家研究主要集中在青藏高原和邻区基础地质调查，并取得了多方面重要成果和认识。然而，特提斯构造域是一个全球性构造带，不仅演化时间长，而且涉及地域广。因此要了解特提斯构造演化全貌以及引领地球科学的发展，特提斯研究绝不能仅限于中国大陆。中国地球科学家需要走出去，带着中国的经验和思考去研究全球特提斯地质。本研究计划的实施，为正在面临转型的中国地质学家提供了难得的机遇，即站在全球的高度，重新审视特提斯研究中已取得的认识，为未来我国固体地球科学的发展提供新的契机。本重大研究计划启动四年以来，共立项 57 项，其中多达 28 项需要中国科学家走出国门，联合国际学者在澳大利亚、东帝汶（帝汶岛）、越南、泰国、缅甸、不丹、尼泊尔、巴基斯坦、伊朗、阿曼、土耳其、法国等 10 余个“一带一路”倡议的沿途国家开展研究。

研究计划实施四年来，面向国家重大需求，面向前沿科学问题，取得了一批具有重要国际影响力的成果，搭建了相关领域的国际交流平台，培养了一批具有国际视野的优秀科学带头人和青年科学家，形成了若干个具有强劲国际竞争力的研究团队，极大地提高了国际合作的层次与规模。

1. 支撑了国家重大需求。研究计划高度重视战略性资源和能源的对比研究。通过特提斯域的境内外对比研究，坚定下志留统页岩气探测方向，四川盆地内志留系页岩气的勘探突破，实现了北美之外首个大型页岩气开发区，四川盆地的页岩气开发有望 2025 建成“气大庆”。在原创理论的指导下新确定一条世界级的稀有金属成矿带，确定了珠峰地区单个矿点锂资源超过 100 万吨，进而确定喜马拉雅淡色花岗岩带是世界级的稀有金属成矿带，有望彻底改变中国锂资源的对外依存度。

2. 填补板块理论短板，丰富地球系统科学内涵，引领“特提斯”这一研究领域成为全球性的研究热点。本研究计划聚焦特提斯领域研究中的前沿问题和核心问题：“地球多陆块单向聚合动力学”，开展针对性的国际对比研究。立项后，由“特提斯”主题词产生的研究主题如“生物地层学与古环境”、“印亚碰撞特提斯缝合带的形成与地

球动力学演化”、“造山带的大陆地壳生长与地球化学特征研究”从 2016 年以前的 3、4、5 名的研究热点跃居为现在的第 1、2、3 名的研究热点，且学科辐射性显著增强。几十个研究团队通过揭示板块驱动力问题从而填补板块构造理论的短板，通过建立地球深部和表层生物-环境协同演化及其资源效应的关键纽带从而丰富地球系统科学的内涵。在四年的研究中，中国科学家通过提出原创性的科学思想、扎实可靠的关键性证据，逐渐形成特提斯中国学派，引领“特提斯”这一研究领域和科学问题再次成为全球性的固体地球科学研究热点。

3. 建立了高水平国际化交流平台。在本计划执行期间，通过主持召集相关会议等方式，为本领域学者提供了国际化交流平台。本计划主持召开了“特提斯动力学年度国际研讨会”（2018 年、2019 年），参会人员包括来自英国、美国、法国、意大利、挪威、荷兰、澳大利亚、土耳其、缅甸等数十个国家的相关领域专家学者。通过不同层次、多种形式的国际合作，吸引了大批世界一流科学家如地球科学最高奖 Crawford 奖得主、英国皇家学会会士 Dan McKenzie；美国 AGU 最高奖 William Bowie Medal 获得者法国科学院院士 Barbara Romanowicz；美国科学院院士 Roberta Rudnick；澳大利亚科学院院士 R. Dietmar Müller、Peter Cawood；挪威科学院院士 Hans Thybo；土耳其科学院院士 Aral Okay；固体地球科学主流期刊 EPSL, Tectonics, G-cubed, Earth-Science Reviews, Tectonophysics 主编 Hans Thybo, Claudio Faccenna, Thorsten Becker, Douwe van Hinsbergen, Zhengxiang Li 等以不同形式参与到特提斯重大研究计划研究和研讨当中，极大提升了会议及特提斯重大计划在海内外的影响力。同时本计划的主要参与人积极召集，在国际顶级综合性学术会议，如 AGU 年会、Goldschmidt 会议、EGU 会议均设有“特提斯”相关的专题，中国科学家逐步成为这一领域特邀报告的重要力量和专题的发起人。这些都为世界各国的特提斯动力学领域学者提供了一个国际化的交流平台。

4. 提升了中国科学家在特提斯研究领域的国际影响和国际地位。国际同行在得知中国特提斯重大研究计划中挑战性的科学问题后，G-cubed 主编、AGU Fellow、美国得克萨斯大学 Faccenna 教授立即邀请重大研究计划的科学家在《Tectonics》和《G-cubed》期刊以特提斯核心科学问题“Tethyan dynamics: from rifting to collision”为主题组织联合专辑，目前已发表专辑文章 28 篇。随后许多国内外主流学术刊物《Earth-Science Reviews》、《Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology》、《Gondwana Research》、《Ore Geology Reviews》、《Journal of Asian Earth Sciences》、《Marine and Petroleum

Geology》、《Global and Planetary Change》、《Journal of Earth Sciences》、《古生物学报》、《岩石学报》、《地质学报》均针对特提斯的优秀成果开设了相关专辑进行成果展示。目前本重大研究计划已经在《Science》、《Science Advances》、《Nature Communications》、《Geology》、《GCA》、《EPSL》、《JGR》等国际顶级专业杂志发表标注论文 553 篇。该计划主要参与成员也在 AGU、AOGS、EGU、CGU、Goldschmidt、AAPG、IAS、青藏高原地球科学学术年会等具有重要国际影响的学术会议上多次做大会特邀报告，介绍本计划相关最新研究成果，引起学术界的广泛关注。本计划核心人员在执行期就特提斯相关的研究主题已经获得国家科技进步二等奖 1 项（第一完成人 1 项-何治亮 2020），国家自然科学奖二等奖 1 项（第二完成人 1 项-杨志明 2019，第五完成人 1 项-张洪瑞 2019），李四光地质科学奖科研奖（张立飞-2021），李四光地质科学奖野外奖（李文渊-2021），中国地质学会第十七届青年地质科技奖金锤奖 1 项（刘英超-2019）、银锤奖 1 项（孙祥-2019），自然资源部国土资源科学技术二等奖 1 项（刘永江-2018），吉林省自然科学技术一等奖 1 项，湖北省自然科学奖二等奖 1 项（刘永江-2018），中国地球物理学会科技进步一等奖 1 项（王绪本-2020），广东省科学技术一等奖 1 项（王强-2020），青藏高原青年科技奖 2 项（梁晓峰-2019，张以春-2020）。该研究计划的实施带动了国际上特提斯领域的研究，使得中国科学家在此研究领域起到了引领作用。

5. 为地质研究的全球性视角起到了示范与带头作用。本研究计划首先作为“全球性”的研究，在实施过程中重视以“我”为主的海内外国际交流与合作活动，围绕特提斯重大研究计划提出的核心问题和核心目标进行研究数据和成果的交流。本计划执行过程中，我国许多科研院所也借此机会成立了许多与“一带一路”国家的合作的地球科学研究中心。实现了海外合作的快速发展，搭建了本学科具有综合优势竞争力的国际合作平台，取得了国际化战略实施的一些经验；同时也开展跨洲际地质条件对比、拓宽项目的研究思路。本计划多次组织包括“印度-亚洲碰撞带”、“土耳其特提斯构造域”、“缅甸掸邦高原东部古特提斯缝合带”、“阿曼蛇绿岩”、“昌宁-孟连特提斯构造演化”、“大别山大陆深俯冲带”和“云南哀牢山-红河剪切带”等国际国内野外联合考察及研讨会，多国近百人参与野外考察，使中国专家学者有机会深入了解境外地质；同时也将国外知名专家学者请进来，让他们深刻认识到中国科学家在中国经典地区已经取得的成就。从国际合作角度而言，本重大研究计划对“研究世界地质，思考中国问题”、促进中外学者交流，尤其是借助本计划平台推动我国学者走出去开展“以我为主”的

研究，起到了重要作用。使我国青年一代科研人员逐步从传统的地质学家或地球物理学家或地球化学家转变为固体地球科学家，他们的视野更具全球性和前瞻性。大团队协作的工作方式对改变我国目前“化整为零”易、“化零为整”难的科研局面正产生积极的影响。同时研究计划的实施，为正在面临转型的中国地质学家提供了难得的机遇，即站在全球的高度，重新审视特提斯研究中已取得的认识，为未来我国固体地球科学的发展提供新的契机。

6. 促进了人才成长。本重大研究计划吸引了一大批层次高、能力强的青年学者与研究生的参与，促进了人才成长。在研究计划实施四年间，一人入选万人计划科技创新领军人才（赵志丹-2020），两人获国家杰出青年基金（王庆飞-2021，宋玉财-2021），两人获国家优秀青年基金（刘英超-2019，兰海强-2020），一人获国际经济地质学会（SEG）区域副主席讲席奖（杨志明-2020），四人入选“黄汲清青年人才计划”（王丹-2019、许王-2019、聂海宽-2020、王慧宁-2021），多人获得省市级人才称号（山东省泰山学者-刘永江 2019、青岛市领军人才-刘永江 2018、重庆市杰青-王绪本 2020、成都工匠-陈宁 2020、四川省学术与技术带头人-王剑 2020、付修根 2020 等），一团队获得科技部重点领域创新团队资助（大陆碰撞成矿作用创新团队-宋玉财 2019），一团队获得科技部人才推进计划重点领域创新团队（青藏高原岩石圈演化与成矿创新团队-赵志丹 2019），两个团队获得国家自然科学基金委员创新群体项目资助（王强-2020，朱第成-2021），一团队入选四川省青年科技创新团队（付修根，王剑等-2021）。为国家培养了一批学科领军人才和优秀青年人才，同时造就一批进入国际科学前沿的创新团队。本重大研究计划还为“一带一路”沿线国家如土耳其、伊朗、巴基斯坦、尼泊尔、缅甸等培养了大量新生科研力量，许多参与项目的年轻科研人员逐步成为了本国的科研骨干，为当地培养人才的同时也提升了我国在域内国家的科技文化影响力。

三、根据进展产生的影响对集成的布局思考

（一）集成的背景与定位

特提斯地球动力系统在研究多陆块单向裂解与聚合过程，板块边缘深部结构及物质组成，单向汇聚与资源能源富集机理，单向聚合过程与全球环境响应，特提斯地球动力系统解析等关键命题的过程中，涉及到一手资料的获取，有很多关键数据要在境外获取，因此特提斯项目有别与其他项目的一大特色是“五年资助、八年集成”。

(二) 学科集成

指导专家组从研究计划立项伊始就开始思考如此庞大、繁杂的项目该如何做好总结。指导专家组讨论认为特提斯应该分阶段分学科开展集成工作，最先开展的是板块格架搭建与编图工作。

1.“特提斯构造域陆块裂解—聚合过程”主要通过通过对地层-沉积、大尺度地壳变形和古地磁资料的集成和分析，恢复特提斯构造域主要陆块古地理位置、地层-沉积格架、盆地属性，以及它们的时空变迁，构建不同阶段陆块裂解和汇聚历史。该项目将通过充分融合各种相关资料，结合本重大研究计划相关项目的最新成果，修订早期特提斯构造演化模型，深化对特提斯构造域陆块单向裂解-汇聚过程的认识，为特提斯地球动力学研究总目标奠定基础。

2.特提斯 1:500 万区域编图。充分发挥研究团队长期在特提斯构造域地质调查、编图与科学研究的工作积累，并与境外专家合作，系统综合特提斯域内近年来取得的新成果及本重大研究计划各相关项目的最新进展，采用“系统收集+归纳集成+关键问题野外调查+综合研究”的技术思路，编制特提斯构造域 1:500 万地质图、大地构造图、矿产图和新特提斯构造古地理图，开展大地构造格架及重要构造-成矿带区域对比研究，为重大研究计划解决板块边界判别、多陆块裂解-聚合过程的资源、能源与古环境影响等科学问题提供扎实的基础支撑。

3.特提斯变质-岩浆作用及其化学地球动力学模型。综合考虑不同时代、不同类型的变质岩和岩浆岩，厘定它们的形成和演化与超大陆裂解/汇聚之间的关系，关注古大洋俯冲带受到大陆碰撞及碰撞后过程的叠加改造，探索变质作用和岩浆作用在时间和空间上呈现显著不均一性的原因，为特提斯地球动力学总结提供系统证据和约束，最终实现建立先进的特提斯体系化学地球动力学模型。

4.特提斯精细结构利用最新的地球内部结构层析成像和间断面成像方法以及密集的地震观测数据开展特提斯构造域深部结构研究，构建兼顾关键地区高分辨率和全域统一的物性结构模型。利用全波形成像方法构建特提斯构造域统一地壳地幔物性结构模型;并结合地球动力学数值模拟，深入探讨特提斯构造域动力学演化过程及其对板块构造理论的指示意义。

5.特提斯矿产资源效应。拟通过特提斯域内主要类型矿床时空分布规律的综合研究，厘定特提斯构造演化与成矿的响应过程；通过原、古、新特提斯成矿作用的系统对比，查明特提斯演化过程中控制成矿的关键地质因素；通过后碰撞斑岩型铜矿、

MVT型铅锌矿等特色成矿作用的全域尺度对比，完善碰撞成矿理论；最终通过全球对比，回答特提斯演化过程中的资源效应。

6.特提斯全球环境效应（拟立项）。

7.特提斯能源效应（拟立项）。

8.特提斯动力学过程集成（拟立项）。

（三）综合集成

综合集成的目标是全面理解特提斯动力学过程与机制。综合集成研究中，将重视不同学科之间的相互印证，并将特提斯作为认识板块驱动过程和地球系统科学的一个窗口，着眼于将区域研究总结出来的现象推向具有普适意义的全球地球科学理论。造山带是板块汇聚的普遍现象，但特提斯构造带在造山演化过程中已有较多的研究，然而作为全球构造中非对称演化特殊性（太平洋、大西洋均为对称演化）及其地位尚未得到充分认识，特提斯演化过程中的表生环境响应正在成为新的热点。

本重大研究计划执行至今，已发现了俯冲板片能够驱动大陆聚散。但是，早古生代的相关证据仍没有落实。为此，综合集成将瞄准这些关键的动力学机制和关键时期开展综合研究。综合集成的另一重要方面是将特提斯置于地球历史时期的全球背景下，若干次的特提斯开合对全球环境是否具有类似效应，机制是什么，这也是中国科学家能够为全球地球科学事业做出突出贡献的突破口。

四、学科交叉情况

本重大研究计划涉及到学部间的交叉、学部内一级学科间的交叉和更广泛的二级学科间的交叉。作为一个“综合性”“多学科”的计划，一大批不同学科的科学家围绕着本重大研究计划总体科学目标开展研究。目前《特提斯地球动力系统》重大研究计划的学科交叉分为两个层面：一个层面是学部间的交叉，比如地球科学部与信息科学部的交叉；另一个层面是学部内一级学科间的交叉，比如地质学与地球物理学的交叉。当前的数据革命将促使地球科学研究从问题驱动到数据驱动的研究范式转变，从专家学习到机器学习和人工智能的转变。本重大研究计划受到了信息科学部专家的关注，专门从事人工智能和数据平台搭建等工作，为重大研究计划的成果综合服务。学科之间的广泛、深入的交叉融合从地球系统多圈层的相互作用和协同演化等基础科学问题着手，将岩石圈、生物圈、水圈等进行关联和分析，研究各个相关地球圈层在时-空尺度上的变化性、内在关联性和协同演化等。进而，在建立特提斯演化趋势基础

上，揭示重大极端地质事件如生物灭绝、大陆裂解、俯冲启动的相互关联。长期而富有成效的交流和合作，一方面促进了重要科学问题的解决，另一方面也提升了我国地质、地球物理、地球化学、数值模拟实验的多学科综合研究水平，为我国固体地球科学不同学科间的交叉研究起到了带头与示范作用。

五、重大研究计划的组织特点和管理探索

本重大研究计划在顶层设计、指南发布，项目申请、评审资助，动态管理、学术交流，项目验收、综合集成等方面，均充分发挥了指导专家组的作用。

(一) 组织特点

本重大研究计划的实施按国家自然科学基金委员会重大研究计划的有关管理规定执行。遵照“依靠专家、科学管理、有利创新”的管理宗旨，实行以专家学术管理与基金资助管理相结合的管理思路，设立了研究计划指导专家组和管理工作组，负责项目的组织实施，实行了如下管理模式：

1.成立指导专家组，负责顶层设计、指南制定以及项目立项、管理与综合集成。指导专家组成员分工明确(见下表)，责任心强，密切跟踪各个项目的研究动态与进展，并且通过联合野外工作和每年的特提斯重大研究计划学术研讨会等形式和机会具体指导学科集成。根据每位专家的学科方向，指定了指导专家作为项目跟踪专家，跟踪获资助的项目的实施情况，把握获批项目在实施过程中是否本着有限目标、重点突破的原则实施，能否为研究计划整体科学目标的实现提供支撑。具体分工见下表：

指导专家组成员联系跟踪分工情况一览

专家组分工	姓名	专业
组长	吴福元	全面负责，统筹协调，指导多学科综合集成
副组长	金之钧	负责油气能源学科的布局，考察进展，指导学科集成
成员	丁林	负责地质、地化的布局，考察进展，指导学科集成
成员	杨顶辉	负责地球物理学科的布局，考察进展，指导学科集成
成员	胡瑞忠	负责矿产资源学科的布局，考察进展，指导学科集成

成 员	冯庆来	负责地层古环境的布局，考察进展，指导学科集成
成 员	李玉龙	负责学科交叉的布局，考察进展，指导学科集
成 员	李肯立	负责模拟计算学科的布局，考察进展，指导学科集成

2.成立管理工作组，指导管理工作，充分信任管理工作组，保障研究计划的顺利实施。管理工作组还根据该重大研究计划的具体特点，允许在管理方面进行探索与突破。

3.在广泛听取有关专家意见和建议的基础上，明确围绕特提斯地球动力系统这一科学命题所应开展的研究工作，做好以科学目标为引导的顶层设计。

4.国家自然科学基金委员会每年发布申请指南，提出具体的研究内容和需要解决的科学问题。

5.每年举行一次获资助项目负责人会议，加强不同项目负责人之间的联系和学术思想及信息的及时交流，促进新的科学研究群体的形成及多学科交叉融合，保障指导专家组成员与项目负责人之间的有效沟通和交流。

6、建立项目成果展示网站（<http://tethys.ac.cn>）及微信公众号（[nfsc_tethys](#)），及时发布本领域相关最新研究成果及项目实施过程中所取得的重要科研成果，做好项目组内部的信息交流工作，也让指导专家组更了解项目进展。

7、根据“以科学问题为先导”和“择优支持”的原则，对研究计划的经费只作预算控制，不严格切块。

（二）思考与体会

《特提斯地球动力系统》重大研究计划的管理目标是，保障总体科学目标的实现，提升我国固体地球科学基础研究能力和水平，为实现从地学大国向地学强国跨越发展做出贡献。在计划执行4年中，除日常管理工作外，提升研究队伍的全球视野和前瞻布局是重大研究计划管理工作的重点。

1.提升管理者和研究者的全球视野

作为一线科学家，计划管理者认识到，我们的研究对象特提斯域是全球性的问题。从全球性角度看问题，才能站到学术高处。

为实现这一思路，在基金委领导和管理工作组的领导下，指导专家组坚持参与研

究的研究团队必须具有全球视野，支持资助项目在国外开展工作，推进研究工作走向国际舞台，努力提高国际影响。主要采取了如下措施：

(1) 支持资助项目在国外开展工作，重视国外特提斯域研究工作；

(2) 强调国际合作，建设国际高水平观测平台（如和缅甸地质学会签订备忘录，在缅甸布设地球物理台站并进行观测），优先支持获取高质量的实验观测数据，观测结果受到国际同行关注；

(3) 鼓励项目成果在国际高水平期刊上发表，不断使项目参与者认识到国际论文与国际影响的重要意义；

(4) 在重要的国际学术会议上（如美国的 AGU 会议）设置特提斯相关专题，组织不同层面的国际学术研讨会，召开有真正影响的国际学术会议（如特提斯动力学国际研讨会），组织全球野外地质考察，并在高影响因子的国际学术刊物出版专集；

(5) 逐步尝试基础研究评审和评价国际化；

(6) 不断促进参与重大研究计划的科学家国际化。

该计划执行 4 年后，重大研究计划从总体出发，以提出国际性科学问题为目标，做出创新性成果，为地球科学整体学科发展做出贡献，提升了我国在固体地球科学领域的国际影响。

2. 管理工作的前瞻布局

新的思维是取得创新性研究结果的必要条件。对于群体实施的研究计划，前瞻布局是催生新思维的前提。我们十分注意在科学活动中引导前瞻性的思维，并做出相应布局。

在对各项目的跟踪管理方面，每年召开重大研究计划年度学术交流会，严格要求项目负责人报告本年度的最新研究进展或项目执行过程中遇到的问题，不能作“流水账”式的工作汇报。指导专家组和项目负责人同时召开联席会议，对已资助项目今后工作进行安排和部署。年度学术交流会形成了不同学科、不同研究团队间的学术讨论和争论的浓厚学术氛围，提升了参与重大研究计划的科研人员对核心科学问题的关注和认识，逐步从过去比较注重论文数量转变为更加注重对核心科学问题的探索。指导专家组通过这些学术讨论和争论，也进一步拓展了视野，增强了顶层设计和前瞻布局的能力，并在项目布局中不断加强顶层设计，提升我国在固体地球科学领域的国际影响。

3.明确而集中的科学目标是实施重大研究计划的关键

重大研究计划的实施需要有一个明确而集中的科学目标。在一个明确的科学目标引领下，才能真正实现多学科的协同攻关，实现不同学科的真正交叉与融合，实现重大科学问题的解决，实现国际影响的快速提升，从而真正体现一个重大研究计划的设置目的。《特提斯地球动力系统》重大研究计划就是一个科学目标明确而集中的典型代表，其科学目标就是理解地球多陆块单向聚合动力学。在此明确的科学目标引领下，所有的工作部署、项目设置与具体研究都是为了实现这一个集中的科学目标，不同学科的科学家从不同角度开展统一目标的研究，不同学科的交叉与融合也有了具体的目标。明确而集中的科学目标，也使该重大研究计划的管理与指导目标明确，评判项目研究成果也具有一个明确的标尺。

六、前期经费使用情况和后期经费安排和需求情况等

(一) 经费使用情况

《特提斯地球动力系统》重大研究计划实施4年以来，按照完成科学目标的需要，布局了培育类、重点类及集成类项目共57项：

2017年，重点11项（申请44项），培育4项（申请28项），总经费2901万元

2018年，重点13项（申请52项），培育2项（申请19项），总经费4500万元

2019年，重点10项（申请43项）+集成1项，总经费3599万元

2020年，重点13项（申请33项）+集成1项，总经费3998万元

以上4年合计资助经费为14998万元。

2017年已资助学术交流（第一期）经费300万元。

2021年，已完成项目评审，拟资助重点4项+集成3项，安排经费2700万元。另外安排资助学术交流（第二期）经费300万元。

已资助项目和拟资助项目总计支出经费18298万元。

(二) 后期经费安排与需求

当前经费余额1702万元。根据基金委对管理费的规定，特提斯重大研究计划剩余经费中有1000万元是管理费，用于会议交流、书籍出版、数据库维护等科研工作；仅剩702万元项目经费可以用于1个集成项目（如油气能源）的申请。

然而特提斯地球动力系统正在成为地球系统科学的热点，随着研究的深入和新的发现，一些新的问题亟待深化研究，还有一些问题仍然需要布局继续研究，总体集成必不可少，新的学科生长点需要发展。例如：

(1) 特提斯全球环境效应（经费需求 2000 万元）。已有的项目布局全部集中在古特提斯闭合后（二叠纪-三叠纪）对全球环境和生物灭绝和潜在的资源响应上。然而特提斯在地球历史上的三次闭合事件对环境的影响是否具有相似的规律，亟待继续对原特提斯闭合和新特提斯闭合进行深入对比研究，因此需要从地质学、地球化学、古生物与古气候学综合研究的角度，对早古生代（奥陶纪-志留纪）特提斯演化与全球冰期、地球陆地生态系统的建立进行深入研究；亟待从地层学、古生物学、石油地质学对侏罗纪特提斯演化与温室地球与全球烃源岩爆发进行深入研究；因此该主题至少需要两个集成项目。

(2) 特提斯深部地幔研究（经费需求 1000 万元）。已有的项目布局全部集中在岩石圈尺度和上地幔范围。当前的特提斯研究已经注意到深部地幔中的板片很可能对特提斯动力过程也具有重要作用，然而以地球物理为主的深部探测和新方法测试尚显不足，制约了我们对地球深部过程的认识，因此仍需要深入研究地幔深部的俯冲板片的位置、大致形态，从而探讨其在特提斯单向运转过程中所起到的作用。

(3) 特提斯动力学过程模拟（经费需求 2000 万元）。已有的项目布局主体集中在动力学过程的关键证据方面，对于动力学过程的模拟和证据集成方面稍显不足，仅有两个重点项目只针对俯冲起始和大陆裂解两个环节进行模拟研究。目前重大研究计划已经积累了大量新观测资料，急需从全球模型角度和区域三维模型角度进行动力学过程的数值模拟研究，将重大研究计划提出的模型进一步从物理过程和机制方面落实、修正或修改，从而将观测现象上升至理论。全球模型和区域模型在动力学研究和数值模拟领域是完全不同的两个领域，因此该主题至少需要两个集成项目。

(4) 特提斯地球动力系统集成（经费需求 1000 万元）。特提斯的演化从研究板块驱动力和深时地球系统的绝佳对象，从深部过程、表层环境到浅部资源能源富集，已经形成了初步的地球系统演化框架，然而在关键过程和机理上还需要更为丰富的资料来支撑，非常需要集成和升华特提斯的众多研究成果，从而认识特提斯对全球演化中的地位与作用，使之真正提升人们对地球系统演化的理解。

综上，本重大研究计划尚需要得到基金委的进一步支持，经费为 6000 万元。

此外，长期对某个具体科学问题或某一地区的持续支持是基础研究能够取得重大

进展的重要保障。由于我国现行科研资助体制的某些缺陷，要科学家真正做到这一点通常不太容易。因为科研项目结束后一般很难马上有类似的研究被立项，这就使得前一个项目获得的有前景研究工作很可能被中断，甚至被束之高阁。基金委对该重大研究计划的进一步支持，对稳定业已形成的研究队伍至关重要。更重要的是，对重大研究计划的进一步支持将有助于培养 80 后和 90 后年轻人才的成长。在基金委的支持下，《特提斯地球动力系统》重大研究计划参与者有信心使特提斯研究继续引领学科发展，服务国家重大需求。