



七 地质科技支撑

2016年以来，在地层、古生物、地质构造、地质勘查技术、科学钻探等方面取得了新成果和新进展，充分发挥了地质科学技术的引领和支撑作用。四川昭觉地区发现白垩纪恐龙足迹化石，长羽毛恐龙及翼龙研究取得新发现；发现剑头翼龙属新材料，骨组织研究取得进展。印度-亚洲碰撞带由挤压到走滑的构造转换的重大发现及机制破解；高演化页岩油气地质条件评价热解分析仪初步研制成功；海域天然气

水合物钻探取样装备完成优化试制；地质灾害应急调查有了新型便携式工具箱；南海天然气水合物试采技术形成创新体系；软硬交错复杂地层钻进技术的改进为深部隐伏矿体找矿提供了有效的技术支撑；创新成矿理论、找矿模型及勘查方法；矿产地质志完成多项阶段性成果；铜陵地区典型 Cu-Au 矿床成矿分带及三维建模已初步完成。

(一) 地层与古生物

四川昭觉地区发现白垩纪恐龙足迹化石

发现兽脚类和蜥脚类两大类恐龙足迹化石，其中兽脚类足迹有5类：大型的嘉陵足迹 (*Jialingpus*)、微小的小龙足迹 (*Minisauripus*)、中小型驰龙足迹 (*Dromaeopodus*)、中大型的实雷龙足迹型类 (*Eubrontestype*)、伶盗龙足迹 (*Velociraptorichnus*)。蜥脚类足迹有1类，即雷龙足迹 (*Brontopodus*)。

调查共发现8处恐龙足迹化石，分布在3个地层层位内，分别是下白垩统飞天山组、小坝组 and 上白垩统一古近系雷打树组。

县央摩租乡、喜德县巴久乡2处化石点。足迹化石产于飞天山组底部及中部。与下伏上侏罗统官沟组为平行不整合接触。

上白垩统一古近系雷打树组恐龙足迹化石

见于喜德县洛哈镇瓦地。

下白垩统飞天山组化石均为兽脚类恐龙足迹，有恐龙足迹化石约60个。主要的足迹形态包括大型的 *Jialingpus* (嘉陵足迹) 和小型的 *Minisauripus* (小龙足迹)。

上白垩统雷打树组化石均为蜥脚类恐龙足迹的 *Bron-topodus* (雷龙足迹)，为典型的晚白垩世蜥脚类行迹特征。

昭觉县央摩租乡洛伍依体村西岸的 *Minisauripus* (小龙足迹) 是国内第3例、世界第4例最小的兽脚类足迹，对揭示恐龙演化为鸟的微体型观点提供了实证。同时，也是世界上首次发现的小龙足迹与大型足迹 (嘉陵足迹, *Jialingpus*) 共存记录，对研究足迹组合，古行为学具有重大意义。



Jialingpus (嘉陵足迹)



Minisauripus (小龙足迹)



Velociraptorichnus (伶盗龙足迹)

发现剑头翼龙属新材料 骨组织研究取得进展

剑头翼龙属于梳颌翼龙科，翼手龙亚目。新发现的化石材料——金刚山剑头翼龙，是迄今为止，梳颌翼龙科中已知保存最为完整的（头骨与头后骨骼在一起）化石标本。

金刚山剑头翼龙发现于九佛堂组（正型标本发现于义县组），其特征为大约 50 个尖锐的牙齿，眶鼻孔约占头骨长度的 13%，外鼻孔前边缘到吻端的长度与头骨长度比率约为 0.63。沿下颌缝合线的中线，具有一个深的沟。最长的颈椎长度和宽度比率为 4.1。股骨与胫骨长度比率为 0.61，胫骨与第 1 翼指骨等长，第 3 跖骨和胫骨的长度比率为 0.4。

剑头翼龙属过去被认为是高卢翼龙亚科成员。通过对 67 个内类群、118 个特征进行支序系统发育分析，结果表明剑头翼龙属应该属于梳颌翼龙科，同滤齿翼龙属成员具有紧密的亲缘关系。

新发现的金刚山剑头翼龙在个体死亡时，

血管分布于外骨膜表面，没有形成完整的骨单位。相比正型标本，新材料代表了较为年轻的个体。个体处于生长活跃期，骨骼发育应该在青年晚期到亚成体阶段。

金刚山剑头翼龙新材料的发现为该属种提供了更为详细的骨骼形态学信息，扩展了剑头翼龙属地层分布范围，增加了该地区翼龙类的多样性。同时，新材料密集、纤细与弯曲的牙齿表明，该种类可能善于捕食鱼类。



金刚山剑头翼龙复原图

（二）地质构造

印度—亚洲碰撞带由挤压到走滑的构造转换的重大发现

特提斯—青藏高原科技长廊和主要成矿带构造背景的综合地质调查在喜马拉雅造山带中完成三大构造的重要发现。

大型韧性滑脱剪切带（THD）发现在东特

提斯—喜马拉雅带东段的底部，具有 N—S 向拉伸线理，伴随盖层的铲式褶皱—断裂系和向南的剪切指向，形成于 48 ~ 15 Ma；大型平行造山的韧性拆离剪切带（GHD），发现在高喜马拉雅带的上部，具 E—W 向拉伸线理和向东、向西的伸展剪切指向，形成 30 ~ 16 Ma；大型韧性逆冲剪切系（GHT），发现在高喜马拉雅

带的下部，具向南迁移的剪切指向，形成在 26 ~ 34 Ma。

晚始新世以来，羌塘地块和拉萨地块的物质通过“岩石圈横弯褶皱和壳内解耦”的运动学机制，35Ma 以来围绕东构造结发生顺时针旋转并向青藏高原东南缘逃逸。结合东南亚板块重建的资料，认为从印度 - 亚洲的

“陆 - 陆碰撞”到印度洋板块 - 亚洲东南大陆的“洋 - 陆俯冲”的转换是导致从印度 - 亚洲主碰撞带的挤压到青藏东南缘走滑转换的根本原因。

上述经过野外艰苦实践的创新性成果，对于重塑喜马拉雅构造、建立 3D 的喜马拉雅造山模式以及挤压到转换的成因机理有重要意义。

捕获 Columbia 超大陆聚合、裂解在华北克拉通上的记录

太古宙陆核形成与巨量陆壳生长：研究结果表明，鞍山地区 3.8 ~ 3.1Ga 变质杂岩含有丰富的岩石类型。其中，部分 3.8Ga 岩石存在明显的 $\epsilon^{142}\text{Nd}$ 正值 (9.7 到 12.5)，指示鞍山地区部分 3.8 Ga 岩石来自强烈亏损的源区，这种强烈亏损的源区在地球形成之后 200-300

Ma 之内已经形成并得以保存。

Columbia 超大陆聚合在华北克拉通上的记录：①如图 1 所示，辽东岫岩三家子地区辽河群里尔峪组片麻岩与大石桥大理岩之间为正断层接触关系，并非整合接触关系；②辽东岫岩三家子地区南辽河群里尔峪组、高家峪组、大石桥组和盖县组的沉积时代分别为晚于 ~ 2.05 Ga、~ 2.07 Ga、~ 2.04 Ga 和 ~ 1.92 Ga。③辽南地体东北部栗子房地区含榴斜长角闪岩

主要以规模较大的小侵入体的形式分布于长英质片麻岩之中，有的露头保留了十分典型的“白眼圈结构”，其中，变质锆石记录 (1828 ± 25) Ma 的年龄，这些特征表明辽南地体曾卷入了与 Columbia 超大陆聚合有关的碰撞 - 造山的构造过程。

Columbia 超级大陆裂解在华北克拉通的记录：研究表明，白

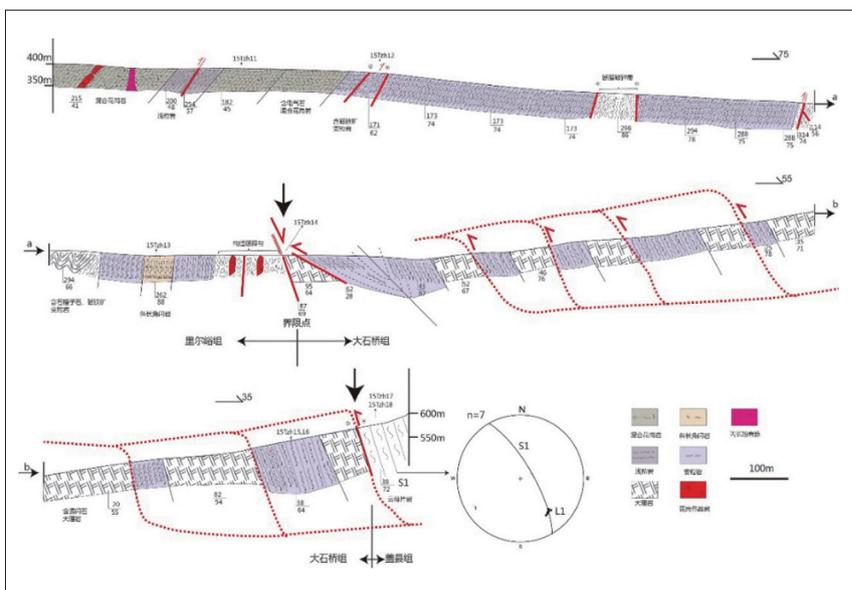
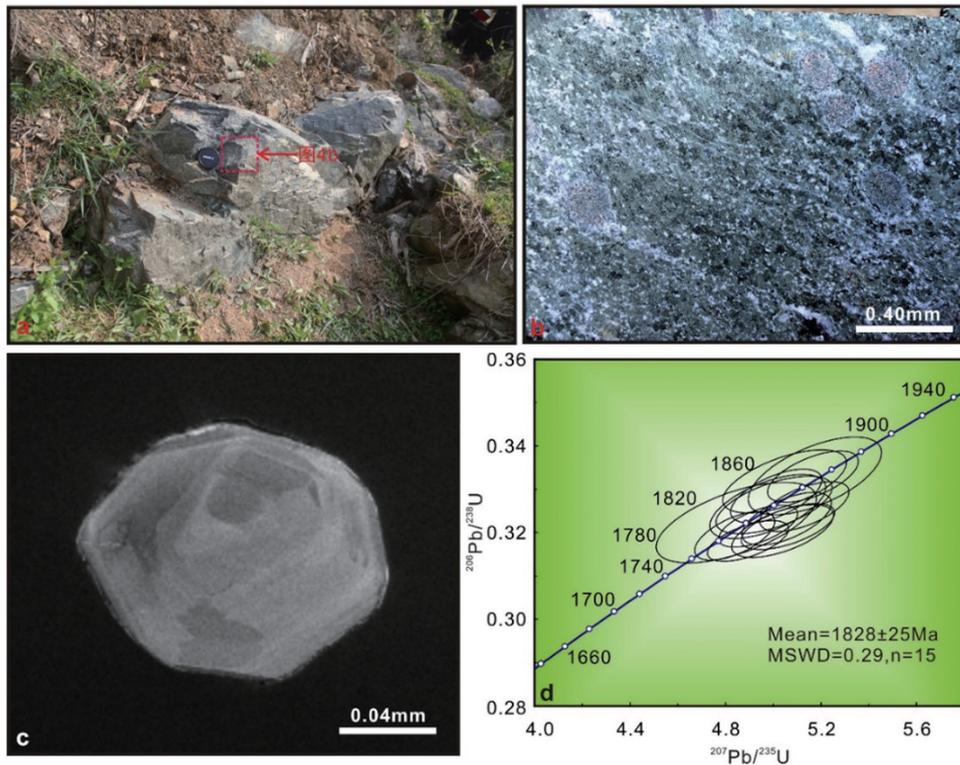


图 1 辽宁岫岩三家子地区构造 - 岩性剖面

云鄂博群都拉哈拉组、尖山组和哈拉霍疙特组的碎屑锆石年龄分布具有类似的特征，主峰为 1.97 ~ 1.85 Ga 和 2.46 ~ 2.53 Ga，最大沉积年龄在 1.78 ~ 1.74 Ga。之上的比鲁特组中，新获得的碎屑锆石年龄峰值为 2.52 Ga 和

1.71 Ga，最大沉积时代为 1.60 Ga。最上部的呼吉尔图组和阿牙登组也显示了相似的碎屑锆石特征，峰值为 1.55 ~ 1.53 Ga、1.36 ~ 1.34 Ga 和 1.15 ~ 1.17 Ga，最大沉积时代为 1.15 ~ 1.11 Ga。



南辽地体栗子房含榴斜长角闪岩野外、手标本、锆石 CL 图像与锆石 U-Pb 定年结果图

◆ 二连 - 贺根山构造带 巴彦胡硕中基性球状岩发现 与大地构造意义

球状岩是稀罕的地质珍品，自 Von Buch 于 1802 年发现并命名以来，目前全球仅 103 例。我国目前发现的仅有 3 例，分别是浙江诸暨球

状超镁铁质岩、河北滦平球状闪长岩和湖北黄陵球状花岗闪长岩。

巴彦胡硕地区中基性球状岩出露于大兴安岭中段西坡，产于二连 - 贺根山构造带北端，内蒙古东乌旗巴彦胡硕镇（乌拉盖镇）北西约 60km，是在原 1 : 25 万新庙幅所划中奥陶世石英闪长岩岩体中的新发现。

野外宏观球状岩主要见有球状辉长岩和球状闪长岩（详见野外照片），球体多呈圆球—椭球状，多表现大球状（球体一般 5 ~ 20cm）、小球状（球体一般 1 ~ 5cm）和粒状（球体小于 1cm）；局部粒状球状岩表现出平行粒序层理特点，类似辉长岩的堆晶结构。

①球状辉长岩：主岩应为微晶辉长岩，球体应为辉长岩等基性岩，球壳为薄壳状浅色花岗质岩石，球间基质同主岩及球体主要成分相近。
②球状闪长岩：浅色长石类矿物和暗色闪石类矿物相间放射状排列构成球状构造，主体岩石不详。

综合考虑认为，巴彦胡硕中基性球状岩应与二连—贺根山构造带的活动有关。本次发现的巴彦胡硕中基性球状岩在我国

东北地区尚属首次，为我国球状岩的研究又增添了新的成员。但对于巴彦胡硕球状的分布范围、岩相学及矿物学特征、成因等还有待于进一步的工作。



大球状辉长岩



小球状辉长岩



似堆晶结构粒状球状辉长岩



球状闪长岩



构造角砾岩岩块



主岩微晶辉长岩

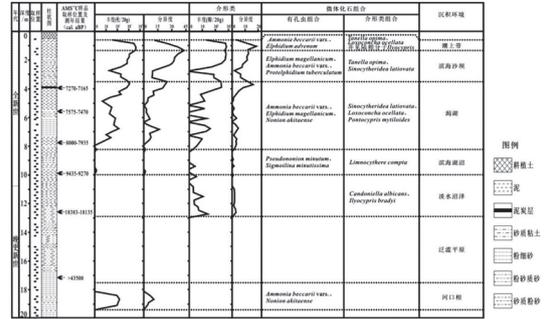
平原区调确定渤海湾北岸海侵模式和 1.9Ma 构造转换

在渤海湾北岸海湾型海侵模式、1.9Ma 渤海湾北岸构造活动和沉积体系的转换方面取得重要进展。

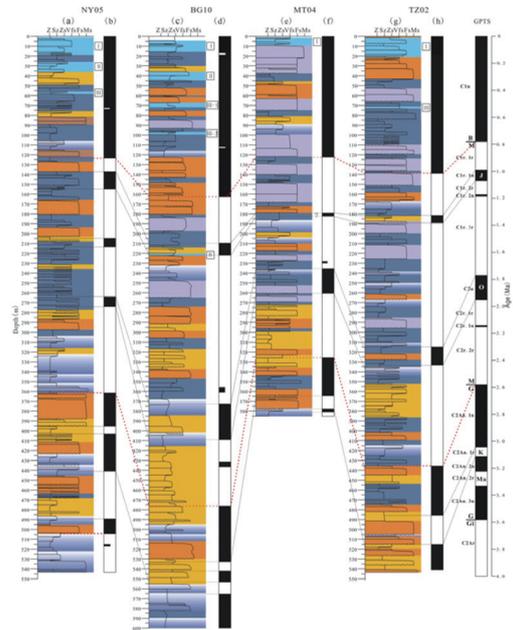
依据微体古生物化石、AMS14C 和沉积结构、构造，渤海湾西北岸 HG1 孔（20m 以浅）划分了 6 个阶段不同的沉积环境。渤海湾西北部海洋和少泥沙河流相互作用，未形成较大三角洲，形成海湾型海岸，记录了较为详细的海平面变化过程，为预测未来区域对海平面变化

的响应过程奠定基础。

通过各孔磁性地层和沉积环境对比发现，渤海湾北岸于 1.9Ma 后黄骅拗陷内各次级构造单元差异性沉降显著增加，北西向凹陷 (BG10 孔和 TZ02 孔) 沉降幅度增加，北东向凹陷 (NY05 孔) 和北西向凸起 (MT04 孔) 沉降相当，指示了此时北西向构造增强，由各北西断裂控制的各次级构造单元沉降增大。同时，1.9Ma 发生沉积体系的转换。1.9Ma 前，区域沉积环境以河湖相为主，形成河流相或泛滥平原相和湖相交替分布的类型，可能以气候变化为控制主因。1.9Ma 后，唐山以东区域以湖相地层为主，晚第四纪滦河迁移摆动至此，形成上部湖相和冲积扇相相间的地层。渤海湾北岸构造和沉积的转换为重新认识区域构造动力和区域水文提供了基础。1.9Ma 后，北西构造活动增加，从而引起渤海湾北岸，以及华北平原北部多地震活动。沉积体系的转换为恢复岩相古地理、确定河流流向和湖相砂体展布特征提供了约束条件，并为水文地质研究奠定了基础。



渤海湾西北岸 HG01 孔完第四纪沉降演化特征



渤海湾北岸第四纪磁性地层框架

(三) 成矿规律

◆ 铜陵地区典型 Cu-Au 矿床成矿分带及三维建模

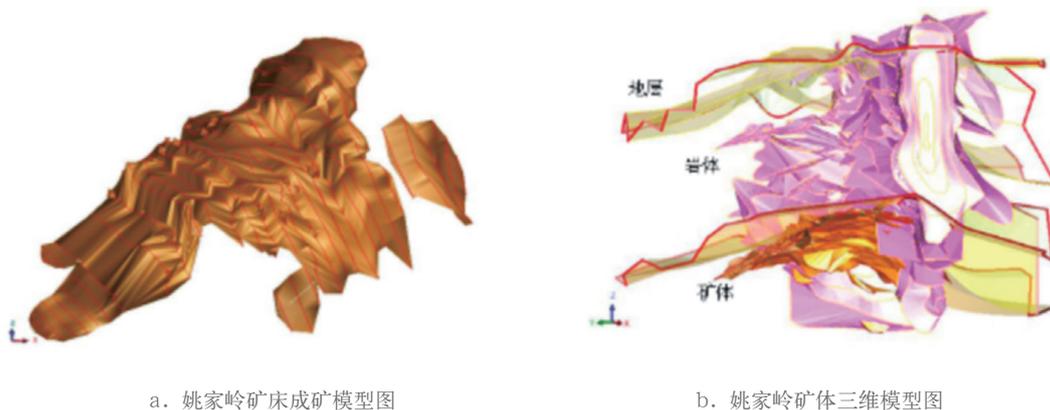
在铜陵地区对具有典型层控矽卡岩型、斑岩型的冬瓜山矿床和典型斑岩型、矽卡岩型和

热液脉型“三位一体”复合姚家岭矿床进行系统的资料收集和综合分析、总结，在此基础上进行现场调研，建立了成矿有关的岩浆岩、地层以及矿床三维空间的分布构架。

冬瓜山铜矿是具有典型层控矽卡岩型和斑

岩型的铜矿床，通过对其岩体（矿石）的地化分析、年代学研究，矿石的探针分析研究成矿元素的分布特征，同位素分析矿质来源，包裹体分析研究成矿流体的性质及成矿温度，进而对冬瓜山的成矿规律进行了总结和综合建模。

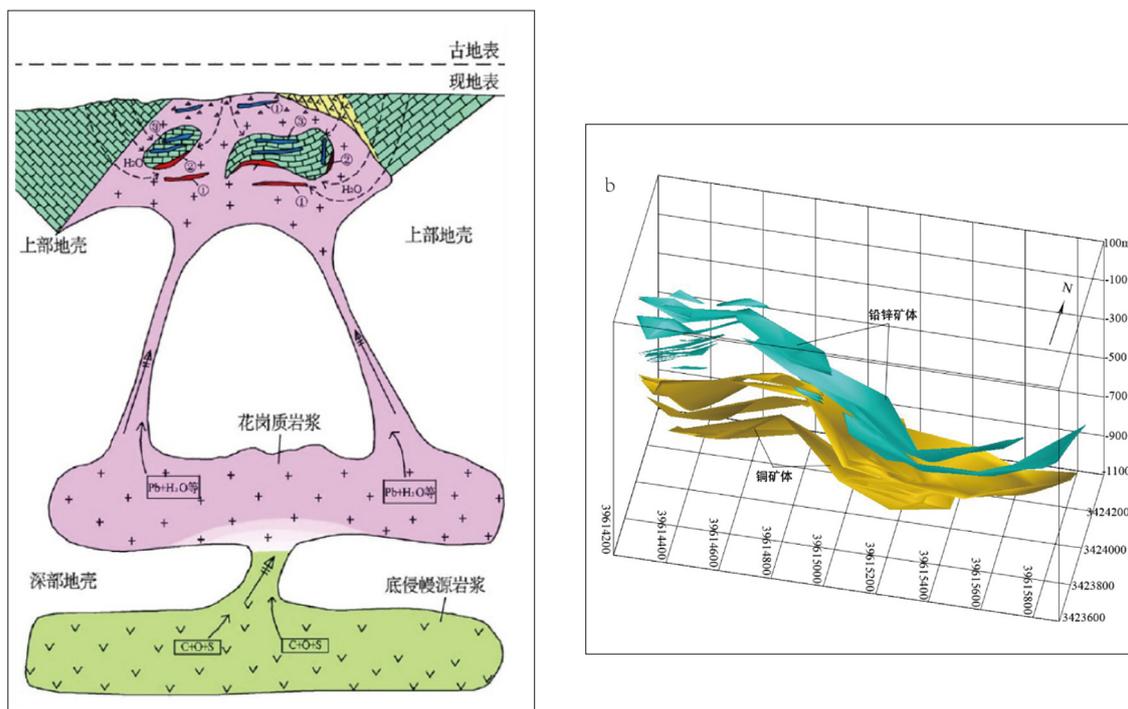
姚家岭锌金多金属矿床是典型的斑岩型、矽卡岩型和热液脉型“三位一体”复合矿床。在前人研究的基础上，查明了矿床的特征，分析了岩浆—热液成矿过程，建立了斑岩型—矽卡岩型—热液脉型复合矿床成矿模式。



a. 姚家岭矿床成矿模型图

b. 姚家岭矿体三维模型图

图1 冬瓜山铜矿床三维结构模型



姚家岭矿床成矿模型

（四） 勘查技术

◆ 高演化页岩油气地质条件评价 热解分析仪初步研制成功

岩石热解分析仪是页岩气地质条件评价最常用、最有效的技术手段之一。但是，我国南方地区古生界页岩的热演化程度普遍很高，对其进行热解分析需要 750 ~ 800℃ 的 S₂ 热解温度才能获得有效数据。当前的国产岩石热解分析只能实现 600℃ 的热解温度，对于高成熟度页岩只能用法国生产的 Rock-Eval VI 岩石热解分析仪。Rock-Eval VI 价格昂贵，故障率高，核心部件极易损坏，加之厂家的售后服务在全

球范围内都很不到位，往往需要半年到 1 年才能得到维修。这种仪器状况严重制约页岩气地质调查样品的分析效率和质量。

经过长期的技术积累和数月的技术攻关，依据现行标准方法《岩石热解分析》(GB/T 18602—2012)，以国内已有岩石热解分析仪为技术和设备基础，参照 Rock-Eval VI 岩石热解分析仪的结构原理、功能设置、技术指标，通过攻关热解单元控温技术，提高控温能力，高热解温度岩石热解分析仪的研制取得了初步成功。经初步测试，该仪器的测试功能与技术指标不逊色于 Rock-Eval VI 岩石热解分析仪。



高热解温度岩石热解分析仪样机实物

◆ 牙轮 -PDC 复合钻头 攻克软硬交错复杂地层钻进难题

软硬交错复杂地层钻进一直是石油钻井和地质钻探的一个技术难题。牙轮 -PDC 混合型钻头的研究与产品开发,为有效穿越软硬交错复杂地层设计制造新型混合钻头,使混合钻头既具有较好的抗冲击性,又能够快速穿越软硬交错复杂地层,提高钻进效率,能最大限度地降低钻探成本和提高钻进效率,可以极大地推动油气钻探工作的技术进步。

在完成 8-1/2" 复合钻头研制的基础上,对油气钻头的设计理念与制造流程有了总体认识。开展了 6" 复合钻头的研制,采用理论计算与计算机三维模型相结合,边建模边改进,大大缩短钻头的设计周期,通过三维建模逐步改善 6" 复合钻头的结构设计并完成了加工与装配工作。6" 复合钻头仍是采用双牙轮 - 双刀翼结构,在 PDC 刀翼设计部分进行了改进,增加了布齿空间,同时提高了排渣效果与冷却效果。钻头的冠部设计为浅锥形,较为平坦的冠部能够降低钻头切削剖面对侧向力灵敏度,同时能提高钻头的稳定性。改进了钻头零部件热处理工艺,一定程度上提高了钻头薄弱部件的强度,从而保证 6" 复合钻头的强度要求。2016 年 8 月,完成 6"



8-1/2" 牙轮 -PDC 复合钻头实物



6" 牙轮 -PDC 复合钻头实物

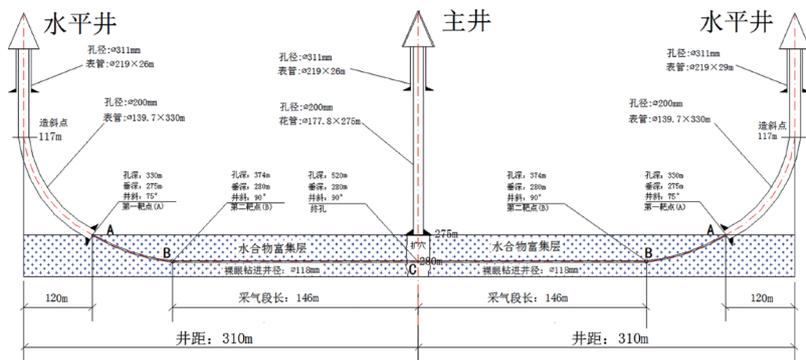
复合钻头实物的加工制造。

牙轮 -PDC 复合钻头能够有效地快速地穿越这类软硬交错复杂地层,有望在复杂地层钻进中获得高的钻进效率,更好地满足市场的需要。

◆ 冻土水合物钻采施工技术 取得突破进展

根据冻土天然气水合物赋存特点及分解的影响因素,利用多井及水平定向钻探技术,将

多井在地下水合物层相互连通,增加水合物分解释放的自由度,使得降压和加热的作用覆盖到更多的区域,这无疑是提高水合物开采效率的有效措施。“陆域冻土区天然气水合物钻采技术方法集成”项目组,设计了一口主井、两



冻土天然气水合物多井地下连通钻孔结构



双井对接成功时主井喷出钻井液情形

口副井的试采方案，利用定向钻探技术使三口井在天然气合物层连通，各井之间下入水平透管，为水合物分解施工处的甲烷气体进入采集主井提供通道。多井地下连通钻孔结构如图所示。

在祁连山木里永久冻土区天然气水合物试采工程中，将地下 340m 天然气水合物

层两口试采井水平对接成功，对接连通的瞬间，钻井液从主井井口喷流而出。本次冻土水合物试采一次性定向对接和一次性下管成功，也使我国成为第一个在高海拔利用小井眼（118mm）定向钻探技术、穿过地下天然气水合物层段将双井连通，成功实施冻土天然气水合物开采试验的国家。

地下水分层勘查技术 促进水文地质调查

河西走廊黑河流域水文地质调查工作，注重新技术方法应用与科技创新，成功应用地下水分层勘查技术，形成并完善了一套“一井同径，封隔洗井、分层抽水，实时监控”技术体系。

(1) 封隔器分层洗井助力获取含水层真实出水能力。考虑到在大厚度富水区常规的洗

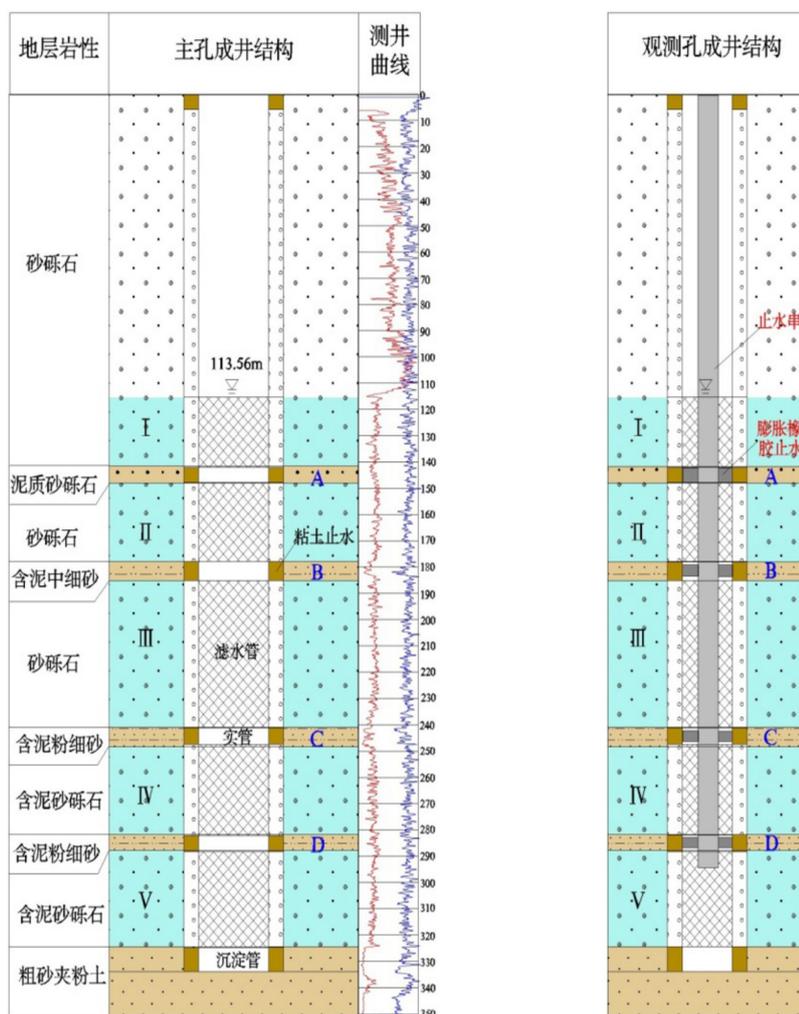
井方式不易对整个含水层段完全破坏泥浆护壁和打通泥浆造成的含水层堵塞，开展了双封隔器分段封隔震荡洗井，提高了洗井效果，获取了大厚度含水层真实出水能力。

(2) 一孔同径分层封隔抽水获取更多水文地质信息。一孔同径封隔分层（段）抽水，可精细刻画水文地质参数。HQ39 经过双封隔器分段震荡洗井后，对上、下两层分别做多落程抽水试验，获取了两层含水层的水位埋深、涌水量、渗透系数及水化学信息。通过

分层水位数据, 有助于准确圈定补给径流区与排泄区。

(3) 成功实施 5 层水文地质勘探试验孔, 为深化水文地质规律认识提供了支撑。对封隔器进行了优化设计, 并进一步完善了封隔器系列, 目前已有封隔器规格 95mm ~ 230mm, 适合 108mm ~ 325mm 管径, 完全满足目前第四系及基岩含水层水文地质勘查。

地下水分层勘查技术, 极大提高了水文地质勘探工作效率, 并有助于获取含水层分层水文地质信息, 具有推广意义。



HQ26 主孔和观测孔分层成井结构示意图

◆ 地质灾害应急调查 有了新型便携式工具箱

便携式地质灾害应急调查系列工具箱汇集多项专利技术和新材料工艺, 具有携带方便、操作简单、调查功能配套、野外适应性强、全程无纸化录入、高效输出调查结果等特点, 工

具箱的野外调查数据采集终端以普通民用地图为载体, 使用中无保密限制, 可快速填报崩塌、滑坡、泥石流、不稳定斜坡、地面塌陷、地面沉降、地裂缝、地质环境调查等地质调查相关表格, 自动生成村(居民点)、县(市)地质调查基本情况汇总表, 输出到 PC 机后实现快速输出调查资料, 快速关联 GIS 系统的特点。同

时,还可记录野外调查路线、圈定灾害区域范围,配合图片、视频、音频等手段,快速、全方位记录灾害点的实际状况。配套使用地质灾害野外数据传输系统,还可实现一定范围的局域网共享,以及在公共网络和卫星网络状态下的调查资料快速即时传输,达到野外地质调查高效、便捷的目的,给上级主管部门提供真实有效的决策依据,为地质灾害防治提供技术支撑。

便携式地质灾害应急调查工具箱由仪器箱和配件箱组合而成,箱体采用整体新型轻质、高强度材料合成。便携式地质灾害应急调查系列工具

箱经过室内外的研究、试制、测试、修改、完善,已形成批量生产模式进入市场,轻便、准确、快捷、高效的特点,在我国各地的应急地质调查和普通地质调查工作中发挥了很大作用。



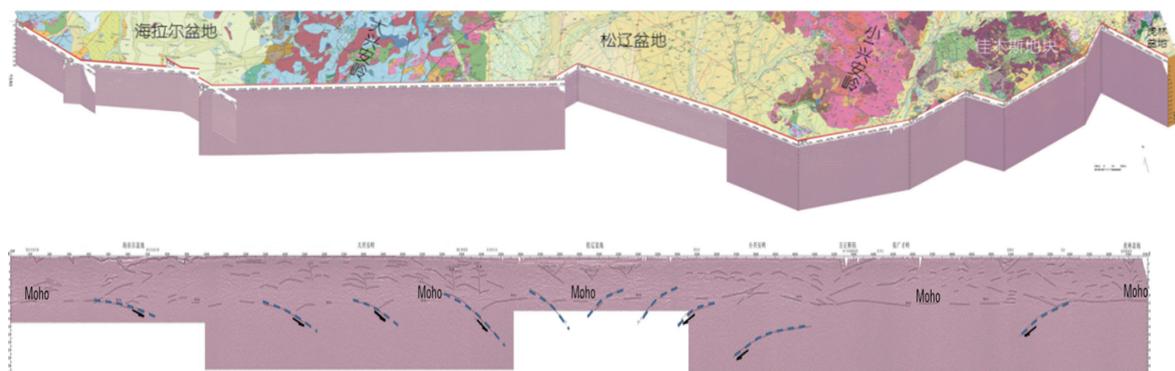
便携式地质灾害应急调查工具箱

（五）深部探测

地球深部探测取得重大发现

揭示了东北亚深部地壳结构,为确定印度亚洲大陆碰撞提供了深部新证据。获得东北地区岩石圈尺度的盆岭精细的深部结构,为松辽盆地及周缘资源能源勘查提供基础

东北地区盆山构造受控于鄂霍茨克洋和太平洋板块的双向汇聚动力学环境,松辽盆地处于板块双向汇聚的中心,汇聚前缘到达大庆长垣隆起之下,呈现出双向汇聚可能是松辽盆地形成的地球动力学背景,为探讨陆内大型含油气盆地形成机制提供了新的视野。



该图显示东北深地震反射大剖面 Moho 之下存在大规模西倾和东倾的地幔反射体
深反射地震大剖面证实了鄂霍茨克洋壳向松辽盆地方向俯冲,更好地解释了松辽盆地的成因



深地震反射剖面揭示出大兴安岭西部中、上地壳大量的弧状反射, Moho 多处错断并发育增厚的下地壳, 与大兴安岭经历多期次火山活动及壳幔混染事件有关, 是地壳多次增厚的产物, 浅表有利于多金属矿床的形成, 具有成矿远景。

发现了佳木斯地块与松嫩地块俯冲碰撞的深反射地震剖面证据, 厘定了松嫩地块与东、西两侧兴安地块和佳木斯地块的碰撞拼合区域。发现松辽盆地东、西两缘板块深俯冲的证据,

晚期发育继承性走滑断裂, 具有油气勘查远景。松辽盆地北部(青冈附近)中生界沉积基底下方存在巨厚的疑似古生界沉积层。

研究获得了东北地区岩石圈尺度的盆岭精细的深部结构, 展示出东北地区主要盆、山构造的基本格架, 揭示出东北大陆早期古微块体汇聚的深部过程和盆山构造变形的深部背景。这些初步成果对于理解大型陆内含油气盆地成因、东北亚构造演化及资源预测等方面均具有重要的意义。



地质数据更新与应用服务

2016年，全国地质资料馆共提供各类地质信息服务超过240万人次；新增20万个钻孔数据提供服务，总服务量超过60万个；获取50余万景高分辨率国产卫星数据，形成基础遥感地质解译产品；完成中国陆域1：25万~1：500万区域地球化学系列图；完成1：150万华北、东北、华东、中南、西南和西北六大区基础地质数据和图件更新；正式出

版1：250万中国大地构造系列图、1：500万中国变质地质图；编制完成中国海及邻域1：500万布格重力异常图、中国海—西太平洋1：300万均衡重力异常图；构建了我国阿尔金成矿带“地质云”示范模型；利用移动服务应用和微信公众平台使地学文献信息获取更加便捷。



(一) 全国基础地质编图

◆ 中国陆域地球化学系列图出炉

全国陆域 1 : 25 万 ~ 1 : 500 万区域地球化学系列图近期全部完成, 包括 39 元素 (氧化物) 单元素地球化学图、单元素地球化学异常图、综合异常图、地球化学推断地质构造图及重要矿种找矿预测图等共计 833 张。地球化学数据信息覆盖国土面积 700 多万平方千米, 能够宏观反应元素含量在空间上的分布变化, 为基础地质、矿产勘查、农业、土壤、生态、环境和地方病等研究提供基础。

系列图件首次全面反映了我国从 1 : 100 万到 1 : 1 万不同尺度的地球化学勘查工作程度和地球化学特征。单元素地球化学图、异常图展示了不同地质背景地球化学特征规律。全

国系列地球化学图在全国 30 个省 (区、市) 共圈定钨、锡、钼、铜、铅、锌、金、银、锑、稀土、镍等 11 个矿种地球化学找矿预测区 4941 处, 全国铅锌铜银综合找矿预测区 209 处, 钨锡钼综合找矿预测区 120 处。在此基础上, 首次依据地球化学多元素综合异常和分布规律, 对全国重要Ⅲ级或Ⅱ级成矿带 11 个矿种开展地球化学找矿潜力综合预测与评价。为矿产勘查远景规划、资源潜力评价和进一步勘查工作部署提供了翔实可靠的地球化学依据。

创新性提出全国铜矿资源地球化学定量预测方法, 提出并建立我国 9 类 25 个铜矿床地质—地球化学找矿模型; 编制了全国铜矿资源潜力地球化学定量预测成果图, 预测了全国铜矿潜在资源量。

◆ 数据驱动 1: 150 万基础地质数据更新与图件编制

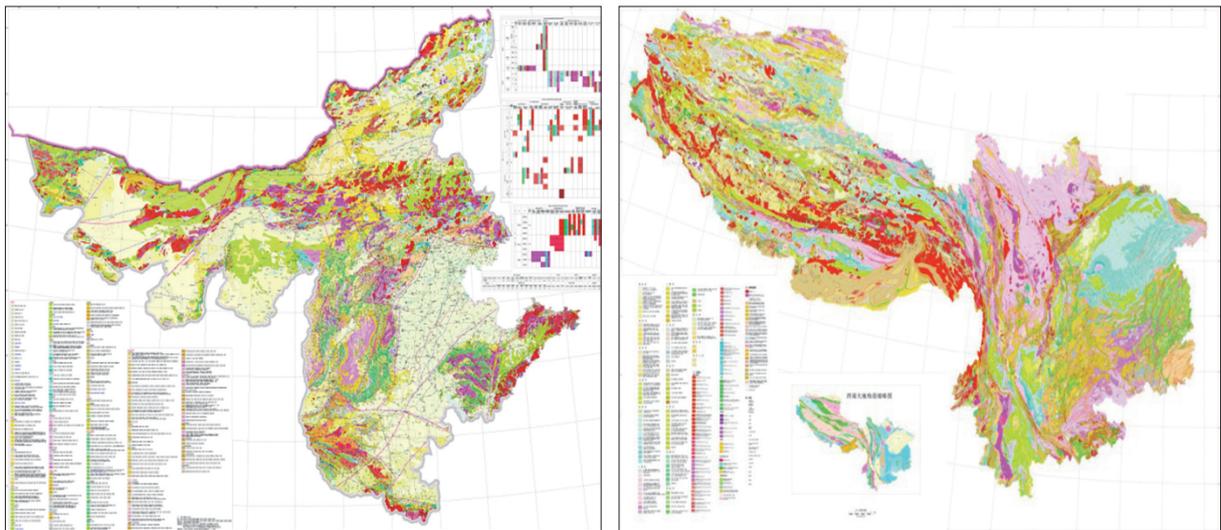
应用“数据驱动”和 GIS 技术, 通过 1 : 5 万 → 1 : 25 万 → 1 : 50 万 → 1 : 100 万 → 1 : 150 万 → 1 : 250 万等 6 个比例尺开展基础地质数据系统性更新, 已经完成 1 : 150 万华北、东北、华东、中南、西南和西北六大

基础地质的认识。

“数据驱动”更新技术是基于专家知识和源地质图数据库, 自动或半自动处理地质单元面、线、点要素综合、图示表达、图例等装饰元素制作等编图工作, 而后再由地质技术人员进一步加工完善, 完成图面编制即完成数据库建设, 形成目标地质图和数据库, 实现库图一体化。整个工作模式中, 编图人员负责地质演化专家

区基础地质数据和图件更新，初步建立了基于“数据驱动”的基础地质数据更新技术方法体系。首次完成的六大区1：150万地质图，重新划分了全国统一的各大区地层分区、岩浆岩带和断裂系统，利用“数据驱动”技术，建立了全国1：150万精度的无缝拼接地质图空间数据库。资料利用全，现势性强，全新表达了我国基础地质调查和科学研究的新进展，提高了对

知识库建立、过程控制以及处理结果完善，实现“知识驱动”和“数据驱动”下阶段过程的自动或者人机交互式编图。创新了地质编图与数据更新理论与方法技术，并成功应用于生产实践，提高编图精度和效率，加快成图速度，缩短更新周期，达到国际先进水平，为全国范围地质数据常态更新工作积累了丰富经验和实践依据。



华北地区地质图西南地区地质图

◆ 1：250万中国大地构造系列图出版

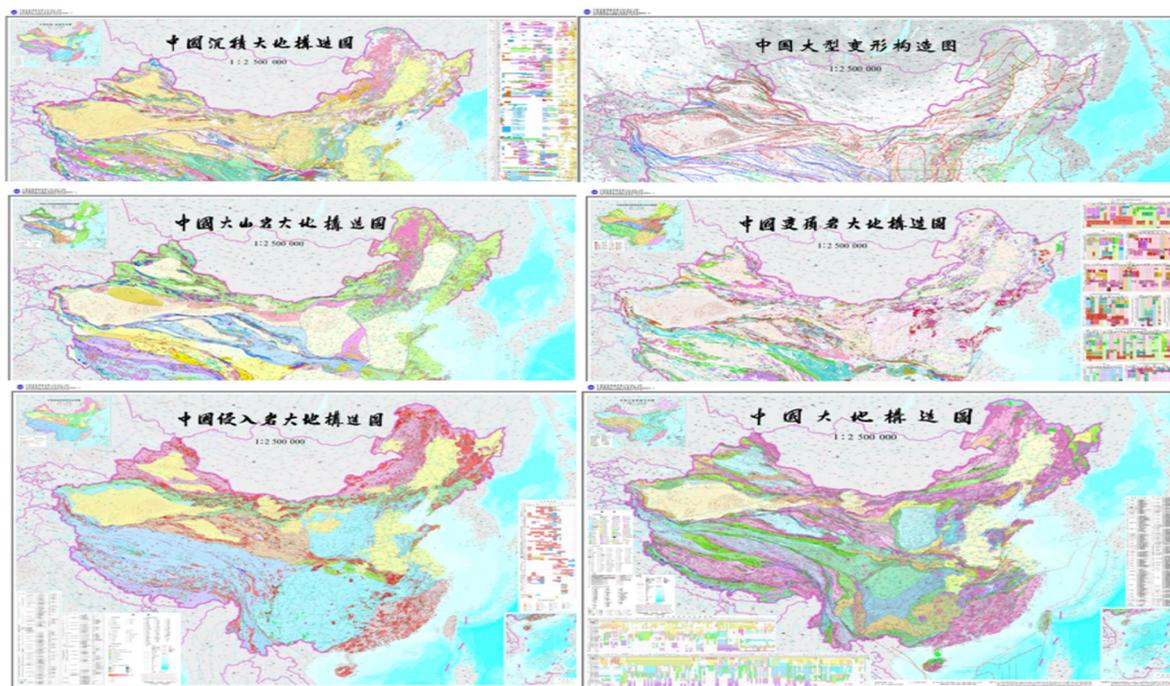
1：250万中国大地构造系列图以板块构造理论与大陆动力学为指导，在综合集成全国各类地质调查成果基础上，运用大地构造相分析方法编制而成，包括中国沉积大地构造图、侵入岩大地构造图、火山岩大地构造图、变质

岩大地构造图、大型变形构造图和大地构造图，为中国成矿地质条件、成矿规律研究与矿产资源评价、预测提供了全新的区域地质构造背景资料。

1：250万中国大地构造系列图以建造—岩石构造组合为切入点，采用沉积、火山、侵入、变质与大型变形地质作用五要素综合分析研究了中国大陆板块构造环境及其离散、聚合、碰撞、

造山等动力学过程, 丰富发展了中国大地构造图图面内容与表达方法, 取得了大地构造研究理念与方法学的突破。1 : 250 万中国大地构造系列图在重建中国大陆构造格架及其形成演化历史, 利用地质建造、岩石组合及大地构造相逐级分析方法, 中国成矿地质背景、华夏古大陆构造性质、古亚洲洋消亡地带及华南洋闭合

时间等的研究, 以及编图及成矿地质背景研究思路和技术方法等方面都多有建树, 获得一批原创性科技成果。系列图件的出版, 不仅可以对全国矿产资源潜力评价发挥重要的指导作用, 而且对我国今后开展矿产资源调查评价及其工作部署、矿产勘查等, 均具有十分重要的奠基意义。



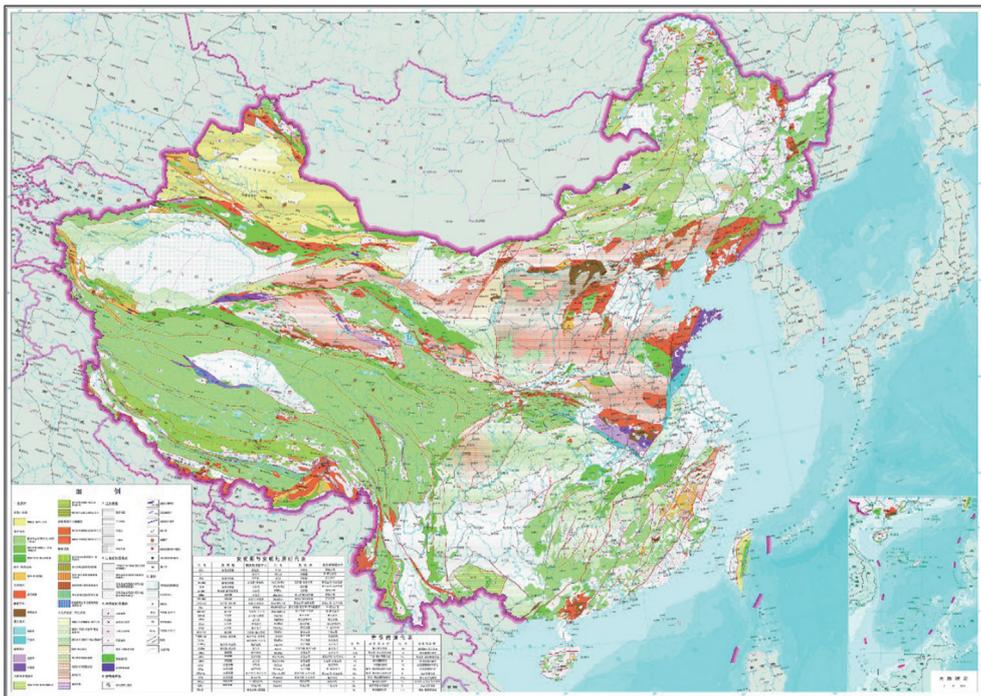
中国大地构造系列展示

◆ 1: 500 万中国变质地质图和说明书出版

1: 500 万中国变质地质图和说明书及专著《中国区域变质岩及变质作用演化》于 2016 年正式出版。根据板块构造理论新划分古老克拉通变质作用、造山带变质作用、埋深变质作用和洋底变质作用四个类型。根据原岩建造、原岩形成和变质时代等, 划分为变质地区、变质地块和变质地带三级变质单元。第一次在变质图上把榴辉岩相作为一个重要的变质相表示出来, 突出了这类变质岩石的构造示踪意义。根据大量的最新研究成果, 将华北克拉通北缘的孔兹岩带形成时代和变质时代都调整为古元古代; 江南造山带下构造层的形成时代调整为新元古代早期, 变质时间大致在 820 ~ 800Ma; 苏鲁造山带的形成时代确定为

240 ~ 230Ma, 折返时间 220 ~ 210Ma。这些变质岩系形成和变质时代的调整, 重新认识了华北克拉通的形成以及扬子和华夏之间的拼合过程, 对于认识变质作用与克拉通的形成与演化具有重要的意义。

通过变质作用的总结提出了青藏高原的形成演化过程, 划分为结晶基底的变质作用、古特提斯洋闭合碰撞过程的变质作用、新特提斯洋闭合碰撞过程的变质作用、高原隆升阶段的变质作用四个重要的变质阶段。系统总结了中西部造山带中麻粒岩的分布、岩石组合类型、变质作用演化、形成和变质时代等, 并与造山带麻粒岩进行了对比, 造山带中的麻粒岩普遍具有造山带内变质带所特有的较陡的顺时针 PTt 演化轨迹, 一些造山带中的麻粒岩其变质过程与榴辉岩有关, 是榴辉岩相变质减压阶段的产物。



中国变质地质图

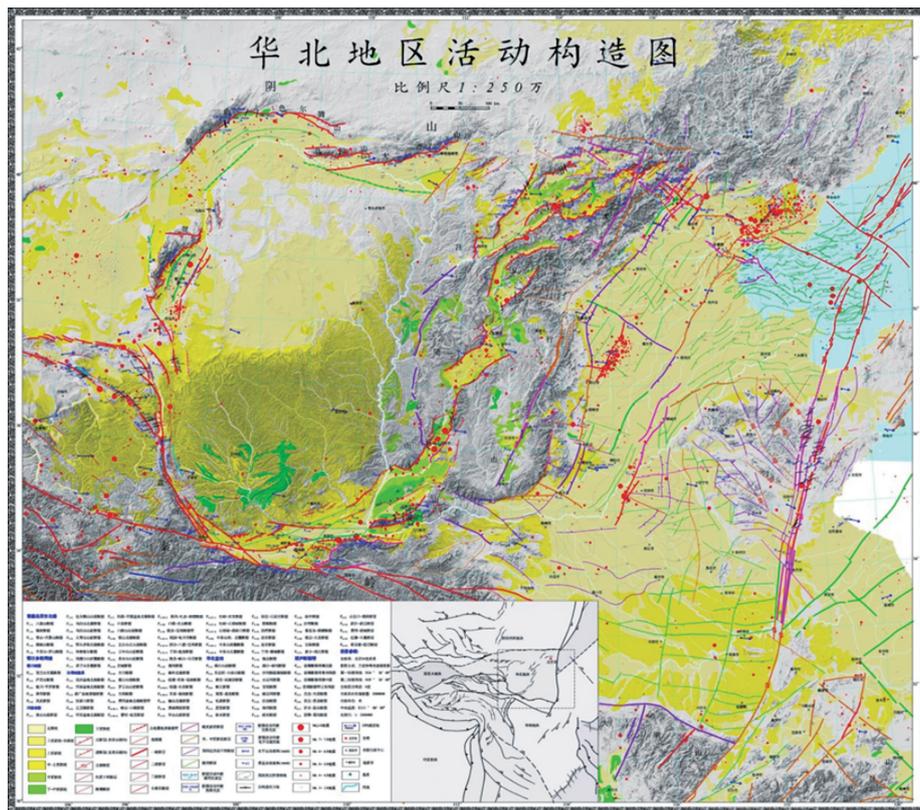
◆ 华北地区 1:250 万活动构造图编制完成

中国地质调查局对华北地区晚新生代地层、构造进行了系统调查与研究,基本查明华北主要活动构造带活动断裂的几何特征、运动学特征与活动性,编制完成了华北地区 1:250 万活动构造图及华北地区主要活动构造带 1:50 万活动构造图。

华北地区 1:250 万活动构造图将华北地区主要的活动构造单元划分为青藏高原东北缘弧形构造带、鄂尔多斯地块周缘伸展构造体系、华北中东部伸展构造体系及郯庐断裂带 4 个一级构造单元。华北地区主要活动构造带 1:50 万活动构造图主要包括华北地块内部、郯庐断

裂带、秦岭北缘、贺兰山—六盘山构造带、鄂尔多斯东缘及北缘断裂带等 1:50 万活动构造图。此外,对华北地区主要活动断裂进行了精细研究,确定了主要断层时代。建立了青藏高原东北缘新生代完整磁性地层序列,厘定了鄂尔多斯盆地西缘古近系—新近系清水营组、红柳沟组和干河沟组地层的时代,首次完整获得了青藏高原东北缘新生代磁性地层格架。

该成果为在华北地区开展 1:5 万构造填图奠定了基础,对区域稳定性评价、地质灾害调查具有重要参考意义。青藏高原东北缘新生代地层序列的建立,为在这个地区开展浅覆盖区区域地质调查、黄土区区域地质调查,特别是活动构造及环境演化调查与研究奠定了基础。



华北地区 1:250 万活动构造图

◆ 中国海陆—西太平洋 重力数据汇聚及图件编制

为深入认识海陆地质构造研究，以全国区域重力调查成果为主，系统收集整理了我国陆域以及周边俄罗斯、蒙古国、印度、斯里兰卡、孟加拉国、泰国、柬埔寨、老挝、越南、尼泊尔、巴基斯坦、缅甸、马来西亚、菲律宾、印尼等国家重力资料，以及日本海、南海、孟加拉湾、苏禄海、苏拉威西海和西太平洋部分海域卫星测高重力数据，通过综合研究，建立了我国海陆及全球大陆架重力基础数据集，编制了中国

海及邻域 1 : 500 万布格重力异常图，中国海—西太平洋 1 : 300 万均衡重力异常图（南幅和北幅）。研究了我国陆域、海域及西太平洋重力梯级带的分布情况及其反映的密度分界面与莫霍界面陡变带及各种类型的断裂带、造山带的关系；系统划分了重力异常场分区及其揭示的地质构造格架。通过对异常的分区研究，探讨了重力异常在反映深部地质构造及揭示资源勘查目标区域的优势对重力场的地质意义，系统展示中国海—西太平洋的重力与资源信息，为资源调查、海洋权益维护、科学研究和防灾减灾、深部构造研究等提供基础数据和基础图件。

（二）数据与信息资料服务

◆ 地质信息服务超过 240 万人次， 社会服务量再上新台阶

2016 年以来，全国地质资料馆共提供各类地质信息服务超过 240 万人次。其中为 356 个单位 3072 人次提供传统的借阅服务，累计提供 9965 档、23737 份次、579406 件次，分别较去年同期增长 70%、8% 和 59%。其中，纸质地质资料复印 260 份次、1583 件次、10910 页，图件 801 幅；电子地质资料复制 10284 份次、58613 件次、80 万页，加工处理和复制地质图件 36081 幅，数据服务量 586.11GB；图文地质资料浏览 17112 份次，下载 49389 份次。通过电话、电子邮件及网上客服接待阅者 9860 人次，

在线访问超过 240 万人次。

2016 年，发布地质资料专题 38 个，服务访问量 2165 次。共发布 13 万条案卷级元数据、343.52 万条文件级元数据。发布 17 批 4567 档最新地质资料。按地质资料类别进行划分，区域调查 217 档、矿产勘查 3244 档、水工环勘查 297 档、物化遥勘查 214 档、地质科学研究 520 档、技术方法研究 58 档，其他资料 17 档。

2016 年申请开通“全国地质资料馆”官方微信订阅号和新浪微博、“全国地质资料馆资料服务”微信服务号、“中国地质”微信公众平台等，形成了地质调查成果和资料多平台宣传与服务社会的新格局，进一步扩大了地质资料的服务面和社会影响力。

◆ 新增 20 万个钻孔数据提供服务，总服务量超过 60 万个

通过全国重要地质钻孔数据库服务平台，经过脱密处理后的 20 万个钻孔柱状图等重要信息公开发布并提供服务，总计发布 60 万个钻孔重要数据。截至 2016 年 8 月，用户访问量由 2015 年的 3 多万人次突破到 14 万人次。

本次公开发布的地质钻孔资料信息，主要包括钻孔名称、钻孔位置、矿区名称、孔口高程、钻孔类型、岩性描述、终孔深度、终孔日期、层位、地质年代、钻孔柱状图、样品分析结果表、钻孔所属项目和保管单位等信息。地质专业人士和社会公众可登录“全国重要地质钻孔

数据库服务平台”(http://zkinfo.cgsi.cn)检索查询相关行政区、整装勘查区、单个矿区或某特定区域的地质钻孔资料信息。或凭有效身份证件到中国地质调查局国土资源实物地质资料中心进行借阅利用。地质钻孔数据信息的公开发布，实现了全国地质钻孔资料的信息共享、资源共享及成果共享，提高了资源利用效益，实现了节约集约利用资源的目的，为我国经济社会发展、生态文明建设、能源资源安全保障和地质灾害防治等提供重要数据支撑。

拓展了实物地质资料数字化手段，利用引进的英国 MSCL 岩心综合测试系统，将岩心扫描新技术新方法引进到实物地质资料数字化领域，最大限度地挖掘、提取岩心蕴含的各种物理化学



新增 20 万个钻孔数据提供服务

信息，为建立中国标准岩心数据库建设提供了基础，实现了岩心长期保管和服务利用。新的实物

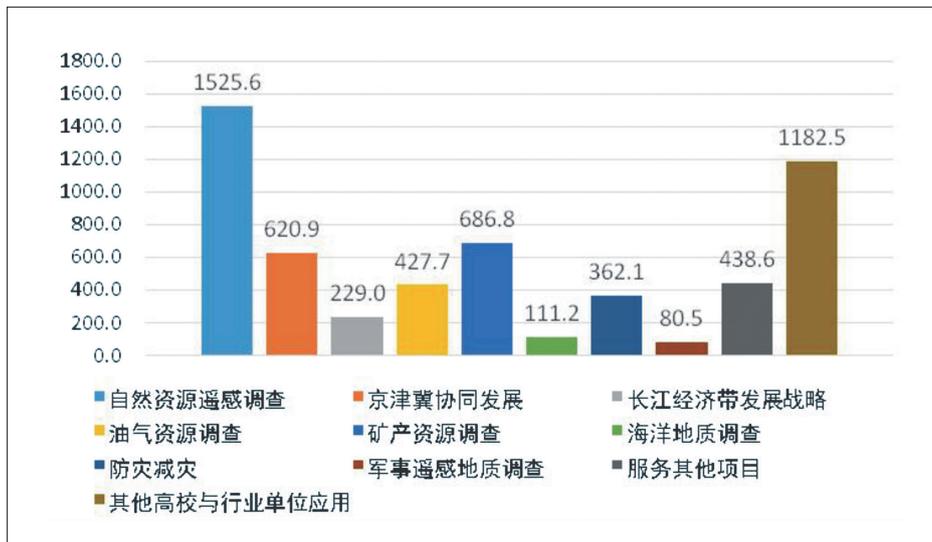
地质资料数字化手段满足了科研、教学、科普等不同社会公众需求，提高了服务利用效率。

◆ 基于国产卫星数据 全面服务地质调查

随着资源一号 02C、高分一号、高分二号等高分辨率国产卫星的成功发射，国产卫星遥感数据的空间分辨率、光谱分辨率、时间分辨率和数据覆盖能力均得到了极大提升，已逐步取代同等分辨率国外卫星遥感数据，在地质调查项目和突发地质灾害应急调查中发挥了重要作用。

2016 年，围绕地质调查需求，面向局属 29 家单位开展了地质调查项目卫星数据需求调研，共接收 527 条需求，累计需求面积 $7400 \times 10^4 \text{km}^2$ ，整合后 $3256 \times 10^4 \text{km}^2$ 。共获

取 50 余万景高分辨率国产卫星数据，全球有效覆盖 $10021 \times 10^4 \text{km}^2$ ，中国境内陆海有效覆盖 $1175 \times 10^4 \text{km}^2$ ，全国陆域 98.02% 覆盖。通过开展国产卫星几何辐射校正、并行运算方法研究，提升国产卫星数据处理精度和处理效率。基于海量国产卫星数据，初步建立了堆积戈壁沙漠景观区、干旱半干旱早寒山区景观区等 6 类景观区遥感地质全要素解译体系，形成基础遥感地质解译产品。共为 57 家地调单位、行业部门和科研院所提供 GF-1 数据 194769 景、48275G，GF-2 数据 296565 景、148920G，ZY-1-02C 数据 48304 景、4024G，正射影像产品 2476 万平方公里，中国境内 16m 分辨率全覆盖卫星影像



国产卫星数据应用服务领域



产品 2 期，需求总体满足度达 87.10%。为京津冀协同发展、长江经济带发展战略、自然资源

遥感调查、油气资源调查、海洋地质调查、防灾减灾等提供了强有力数据支撑。

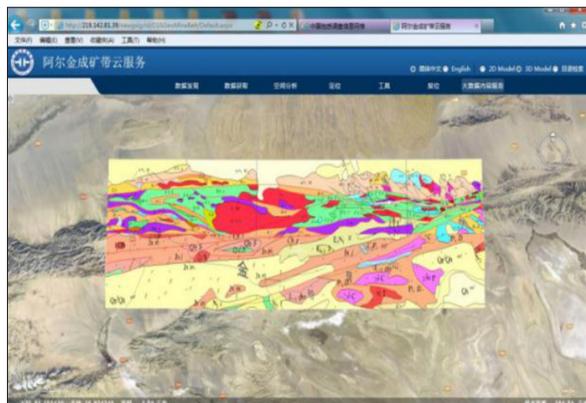
(三) 信息技术

“地质云”示范模型创新数据密集型现代地质调查工作模式

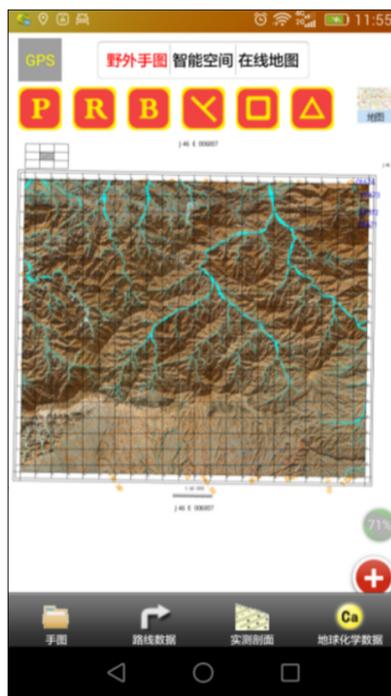
以地质数据共享、互通与协同为基础，以密集型数据应用、处理和智能服务为主线，在“地质调查 + 互联网”数据密集型工作模式基础平台上，构建了我国阿尔金成矿带“地质云”示范模型，并成功应用到实际工作中。

数据密集型（大数据）现代地质调查工作模式通过综合集成云数据中心、云计算、云GIS、非结构化数据库、数据挖掘、动态地质内容库（知识库）构建等技术，形成了地质云存储、云桌面、云平台、云“端”服务等 4 大

应用体系。云存储在不同资源共享池中按个人、工作组、子项目组、项目组、工程等分级存放不同对象的私有和共享数据，项目组可以在野外上传、下载和管理存放在云盘上的地质资料；云桌面的计算、软件、网络等资源为数据处理、地质三维建模和综合研究提供便捷手段；云平台提供时空一致性数据综合、野外数据采集同步实时跟踪、数据挖掘、成果发布等；地质云



阿尔金成矿带地质云服务



野外终端自适应地理信息在线服务

“端”以智能移动终端和野外数据采集系统为载体，承担野外地质人员的各种数据资源获取、建模计算、智能服务等任务，可获取全国范围的地质图在线数据，初步实现野外地质调查强大知识库的实时支撑。

阿尔金成矿带“地质云”示范模型创新了数据密集型现代地质调查工作模式，能够有效提高地质调查数据采集、传输、处理、建模与知识服务的能力和效率，为构建我国地质调查数据密集型工作新格局提供依据和经验。

◆ 地学文献资源开拓移动服务新模式

为了更好保障地学文献资源服务，助力地质科技创新，先后推出了基于智能手机端的移动服务应用（APP）和微信公众服务平台，采用个性化定制和专业推送方式，国内外地学文

献数字资源及资讯获取、参考咨询、个人图书馆等信息服务迁移至移动互联网，使得文献信息获取更加便捷，咨询更加方便，服务更加精准，尤其适用于野外一线地质科研与生产工作。

基于智能手机端的移动服务应用（APP）作为一套独立的移动文献服务产品，用户只需在智能移动终端上访问或安装移动服务应用（APP），即可获得在办公室电脑端的等效信息服务。微信公众服务号当前已被越来越多的机构用来提供信息服务，地学文献中心微信公众服务平台将现有桌面 Web 文献服务功能移植到微信，以使用户通过微信即可访问地



地学文献中心微信公众平台



手机移动服务系统（APP）宣传页面



学文献资源和信息。该平台能够实现文献资源的查询和下载、信息推送和获取、移动参考咨询、个人图书馆服务等功能。自移动服务上线

以来, APP 应用累计下载 12000 余次, 微信公众号关注订阅 4800 余人, 文献查询、下载和咨询 2200 余次 /d。



九 海洋地质调查

2016年总体进展顺利，取得了一系列丰硕成果。1：25万海洋区域地质调查为三亚新机场建设提供重要地质依据；高取心率钻孔精细厘定东海外陆架晚第四纪地层框架；海陆统筹综合地质调查助推海岸带协同发展；围绕舟山绿色石化基地等重大工程，开展浅层气相关地质灾害影响评估；海岸带综合地质调查提高了重大工程建设保障能力；建成多个海岸带地质环境监测示范区；南黄海科学钻探CSDP-2井揭示前新生代海相地层并发现油气显示；圈定东沙中生代13个有利圈闭构造及

西沙海槽盆地5个重点构造；神狐海域新发现高饱和度、高渗透率水合物储层；冷泉探测发现目前我国海域发现规模最大的冷泉羽流；发现“海马”冷泉生态系统复杂，历史甲烷渗漏量大；“高富强”地震勘查新技术落实了调查参数井井位；创新形成了天然气水合物试采技术体系；初步建成天然气水合物数据集成及共享服务平台；整合推出海洋地质新数据并提供服务；海洋地质数据成果三维展示提升海洋地质信息服务水平。

(一) 海洋基础地质调查

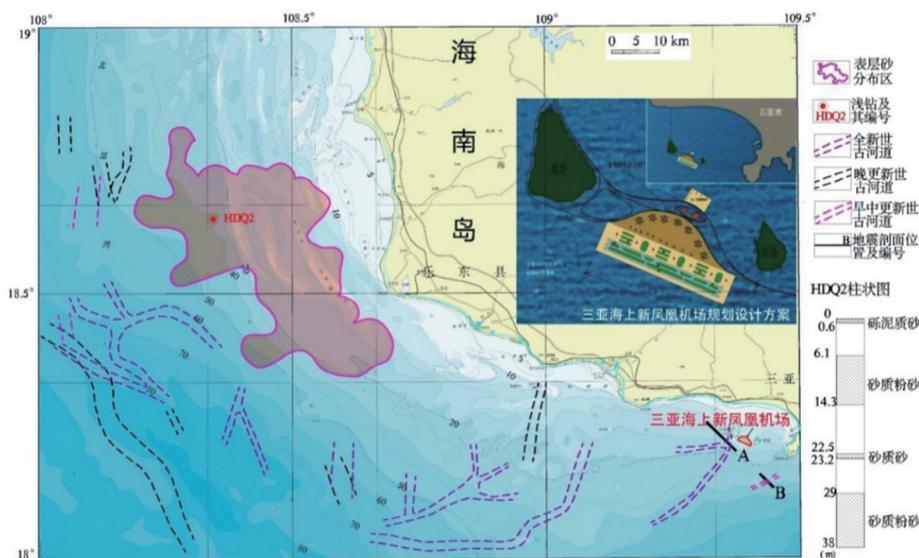
1 : 25 万海洋区域地质调查 为三亚新机场建设提供重要 地质依据

1 : 25 万乐东幅海洋区域地质调查开展了以多波束水深测量、单道地震、浅层剖面、侧扫声呐、重力、磁力、地质取样、地质浅钻等为主的综合地质与地球物理调查，初步查明图幅海底地形地貌、底质类型、地层结构、地质构造和地质灾害等特征，调查成果为“21 世纪海上丝绸之路”海上合作战略支点之一的三亚新机场选址建设提供了关键地质依据，该成果正在提交给海南省人民政府。

发现大面积砂质沉积物。多波束调查显示，区内 45m 以浅区域海底表层沉积物主要为松散砂，由岸向外沉积物粒度变细，发育潮流冲刷槽、潮流沙脊和海底沙坡三种地貌类型。圈定表层砂质沉积物 2429km²，位于新机场选址西北方向 80km。通过 HDQ2 钻孔发现，纵向上发育四层砂，初步判断该砂质沉积物能满足新机场填海用砂需求。

新机场选址附近海域发育古河道。调查发现，在三亚新机场建址附近有两条古河道：全新世古河道 A，距离机场建址 1.8km，宽度约 1.8km、深约 14m；早中更新世古河道 B：距离机场建址 8km，宽度约 0.8km、深约 10m。

古河道中以粗碎屑沉积物为主，孔隙度大、有较强的渗透性，与古河道以外的沉积物具有较大的物性差异。在上覆荷载下容易形成局部塌陷，在外力作用下容易引起层间滑动，造成基底不稳定，从而对机场所在的海床稳定性具有较大的安全隐患。



1 : 25 万乐东幅海洋区域地质

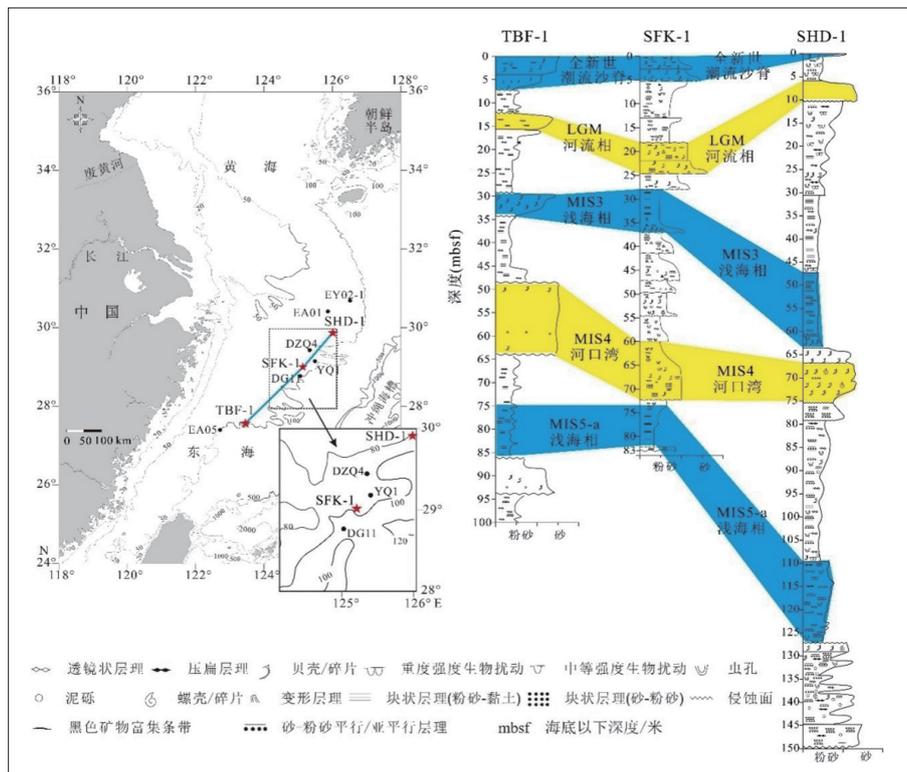
高取心率钻孔精细厘定东海 外陆架晚第四纪地层框架

通过对东海外陆架 3 个高取心率地质钻孔的年代地层学、生物地层学、层序地层学和沉积相分析,厘定了 MIS5 (深海氧同位素 5 期) 以来的地层,重建了古环境。

MIS5 中晚期 (100 ~ 74ka)。相对低海平面期,之后海平面缓慢下降,发育高位体系域浅海-前三角洲细粒沉积。此后海平面缓慢上升,发育以细砂-粉砂质砂为主的潮流沉积,形成海侵体系域沉积,有明显侵蚀面。末次冰期亚冰期 MIS4 (60 ~ 74ka),早期持续海退,发育近河口潮坪沉积。中后期形成近滨潮坪沉积和黑色贝壳砂。MIS3 (25 ~ 60ka),海平面缓慢下降,发育大面积的浅海-三角洲体系,

形成高位体系域浅海沉积。晚期海平面持续下降,发育泥沙互层的海陆过渡相沉积,在中内陆架形成过路沉积。末次冰盛期 (18 ~ 22ka)。海平面大幅下降,在平缓陆架上形成河流、近岸河口及滨海沉积,对应低位体系域沉积。随后冰消期,海平面缓慢上升,在潮流作用下,发育潮坪沉积,即早期海侵体系域。全新世海在 7ka 左右达到最高海平面并相对稳定,外陆架在较强的太平洋潮波系统作用下,发育大范围海侵潮流沙脊,形成分选程度相对较高的灰黑色中细砂沉积,对应海侵体系域晚期。

东海外陆架晚第四纪地层框架的厘定,对于促进我国东部边缘海晚第四纪沉积研究、精细分析冰期古河道的分布和演化、中国大陆碎屑物质在东海及冲绳海槽的分布等研究及海域划界应用具有重要极意义。



东海外陆架晚第四纪地层框架

(二) 海岸带综合地质调查

海陆统筹综合地质调查 助推莱州湾海岸带协同发展

截至 2016 年, 莱州湾海岸带大、中比例尺综合地质调查已完成 16 幅 1 : 10 万 ~ 1 : 25 万海陆统筹地质图件, 包括 12 幅基础性图件和 4 幅应用性图件, 基本查明莱州湾海岸带地区工程地质、环境地质、水文地质条件和卤水等矿产资源赋存特征, 为莱州湾海岸带经济建设与可持续协同发展提供了科学依据。

以 1 : 25 万莱州湾工程地质分区图为例: 陆域划分 3 大工程地质区, 即鲁西北平原工程地质区 (I)、鲁中南山低山丘陵工程地质区 (II)、鲁东低山丘陵工程地质区 (III), 在此基础上, 划分了 8 个工程地质亚区。海域划分 3 个大区, 即鲁东滨海平原工程地质区 (IV)、西部黄泛平原及滨海平原工程地质区 (V)、莱州湾中部堆积平原工程地质区 (VI), 在此基础上, 划分了 6 个亚区。针对每个地质分区提出具体工程地质问题和建议。例如黄河三角洲冲积海积层稳定—较不稳定亚区,

其主要工程地质问题为淤泥类土、盐渍土、饱和粉细砂及粉土易震动液化层广泛分布, 影响基础稳定性, 地下水存在中—强结晶性侵蚀, 在工程建设时应采取相应措施; 龙口—蓬莱变质岩侵入岩较不稳定亚区, 其主要工程地质问题为岩溶区水库存在渗漏, 建筑需防震。这些问题和建议为莱州湾海岸带国土资源规划、开发、管理以及重大工程开发建设地质风险评价等提供了基础性、先导性地质工作支撑和服务。



1 : 25 万莱州湾工程地质分区图

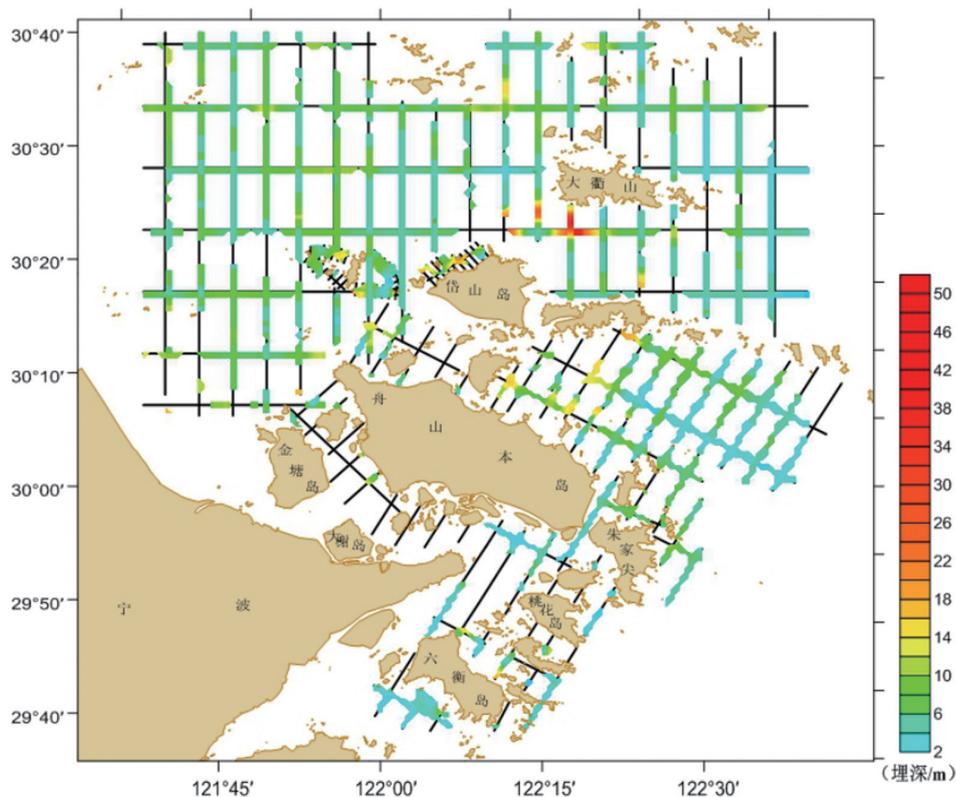
◆ 宁波—舟山海域海底浅层气调查 服务重大工程建设

利用浅地层剖面测量、地形测量、地质钻探、钻孔试气、沉积物和孔隙水地球化学分析等综合技术方法，围绕舟山绿色石化基地等重大工程，开展浅层气相关地质灾害影响评估。海岸带综合地质调查提高了重大工程建设保障能力。

通过浅地层剖面解译，圈定埋藏浅层气的平面分布范围和含气层顶界埋深。埋藏浅层气在研究区海域普遍分布；地震剖面常见声学空白、声学幕和声学扰动现象，海底常见麻坑、泥火山等特殊微地貌，并观测到近底海水中甲烷含量异常现象。地震剖面 and 地质浅钻揭示主要的含气层是上更新统和下全新统的滨海相—

河流相砂质粉砂、黏土质粉砂和粉砂地层，上覆的上全新统泥质沉积层为封堵盖层。含气层顶界埋深变化较大，以4~10m为主，局部埋深达20m。海上钻孔取气试验，现场测得最大气体压力0.06MPa，海底浅层气具有多层性。钻孔孔隙水和沉积物顶空气分析表明，浅层气气体主要成分为甲烷，含量90.3%~97.9%，主要为生物成因气。

实验模拟结果反映埋藏浅层气降低沉积层土力学强度，破坏土质原始稳定性，减小基底支撑力，在外载荷重下，含气沉积物发生蠕变或突变，产生不均匀沉降或液化失稳，破坏石化基地的构筑物、管道和海堤稳定。同时，施工过程中存在高压埋藏气扰动喷发、溢出闪爆等火灾风险，严重威胁石化基地安全。



宁波—舟山海域海底浅层气分布和埋深示意图

(三) 海洋油气资源调查

南黄海科学钻探 CSDP-2 井 揭示前新生代海相地层 并发现油气显示

南黄海陆架施工科学钻探 CSDP-2 井于 2015 年底完成 2000m 全取心钻探, 2016 年计划加深至 2800m, 目前钻至 2700m。该科学钻探的目标之一是探查南黄海中部隆起前新生代海相地层时代, 揭示南黄海前新生代海相地层沉积演化过程, 为油气突破进一步奠定基础。

CSDP-2 井岩心显示, 0 ~ 596m 岩心为新近纪以来沉积的松散 / 未固结沉积物。596 ~ 2700m 岩心为中—古生代岩石。根据古生物化石和区域对比, 确定三叠系、二叠系、石炭系为海相和海陆过渡相地层为主, 泥盆系

为海陆交互相地层, 岩性为灰岩—泥岩或砂岩。推断 CSDP-2 井 2700m 处的地层为泥盆系五通群, 是迄今为止南黄海钻遇的最古老地层。在 CSDP-2 井在下三叠统分别钻遇 3 段好的油气显示, 分别为 866 ~ 876m (三叠系青龙组)、885 ~ 889m (三叠系青龙组或大隆组) 和 1151 ~ 1162m (二叠系龙潭组)。沿灰岩裂隙或细砂岩的方解石脉发现油迹, 对应的气测录井显示全烃百分含量最大值分别达到 0.30%、0.37% 和 0.45%。在裂隙处取得的样品经荧光分析显示为“油迹—油浸层”特征。龙潭组视厚度 350m 左右, 灰黑色泥岩含量约 40%, 累计泥岩厚度约 100m, 推测为较好的烃源岩, 烃源岩的类型为 II 到 III 型, II 型为主, 为海陆过渡环境。



CSDP-2 井二叠系龙潭组沿细砂岩的方解石脉显示油迹

CSDP-2 井为南黄海中部隆起上的首钻, 该隆起油气显示是南黄海中、古生界碳酸盐岩中的首次发现。海相地层的发现将极大促进南黄海盆地, 尤其是中部隆起的基础地质和油气勘查工作, 并将推动南黄海层序标定和古沉积和构造环境等前沿科学问题的研究。

南海北部油气资源调查 锁定有利圈闭构造 18 处

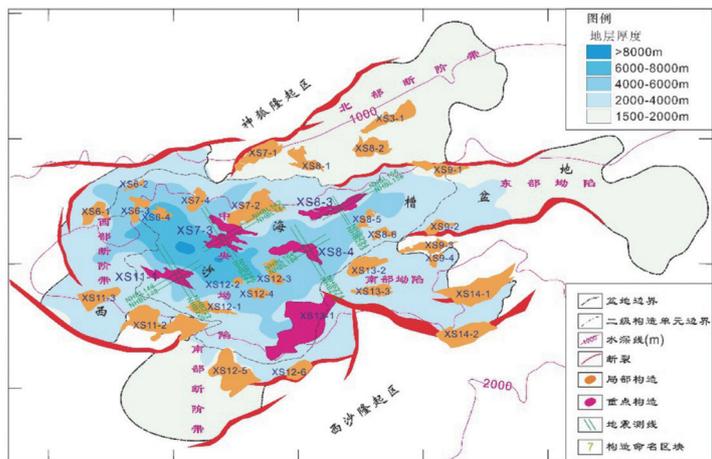
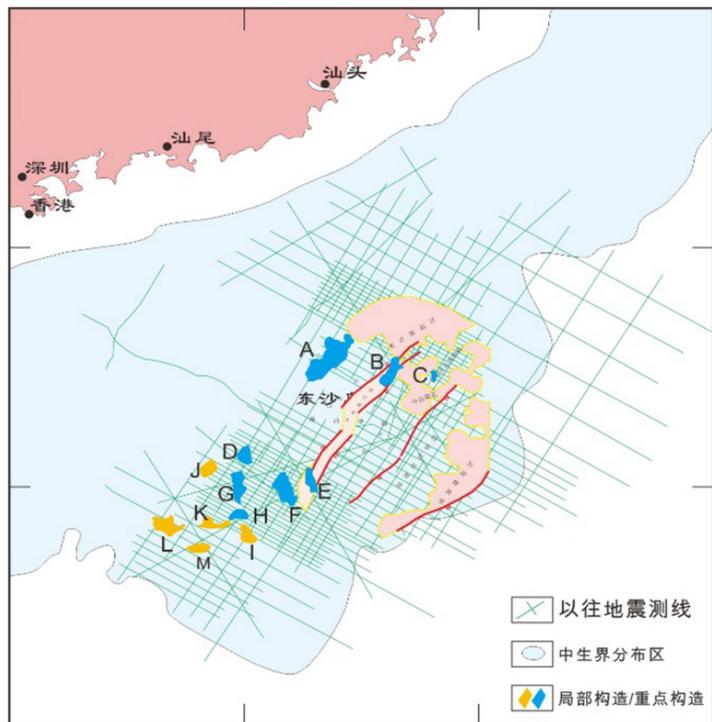
南海北部东沙海域油气资源调查，采用三维成像的叠前深度偏移处理技术，取得了单元单缆地震资料采集三维成像技术的突破。以此为基础，初步圈定东沙中生代 13 个有利圈闭构造及西沙海槽盆地 5 个重点构造。

通过本次调查，圈定南海北部中生界分布面积约 $6.7 \times 10^4 \text{km}^2$ ，主要分布在珠江口盆地东沙隆起两侧的潮汕坳陷、韩江坳陷及台西南盆地等区域，总体呈现南厚北薄的特征，其中潮汕坳陷中生界残留厚度 3000 ~ 5000m。发育有背斜、断鼻、断块和复合圈闭及岩性尖灭圈闭，初步解释的主要构造有 13 个，主要分布在潮汕坳陷斜坡带，闭合幅度介于 500 ~ 1500m，圈闭面积均大于 100km²。

西沙海槽盆地最大沉积厚度超过 8000m。盆地自下而上发育岭头组、崖城组、陵水组、三亚组、梅山组、黄流组、莺歌海组、乐东组。综合分析局部构造的油气地质条件，优选 5 个重点构造，圈闭面积均大于 100km²、单层圈闭闭合幅度 200 ~ 700m、离富生烃凹陷距离小于 10km，储层发

育、圈排关系好、具有一定的油气显示或地化异常。

这些重点构造的进一步落实将加快海相中生界油气勘探进程，有助于形成并完善海相中生界油气成藏理论，实现海域新层位的油气资源战略突破。



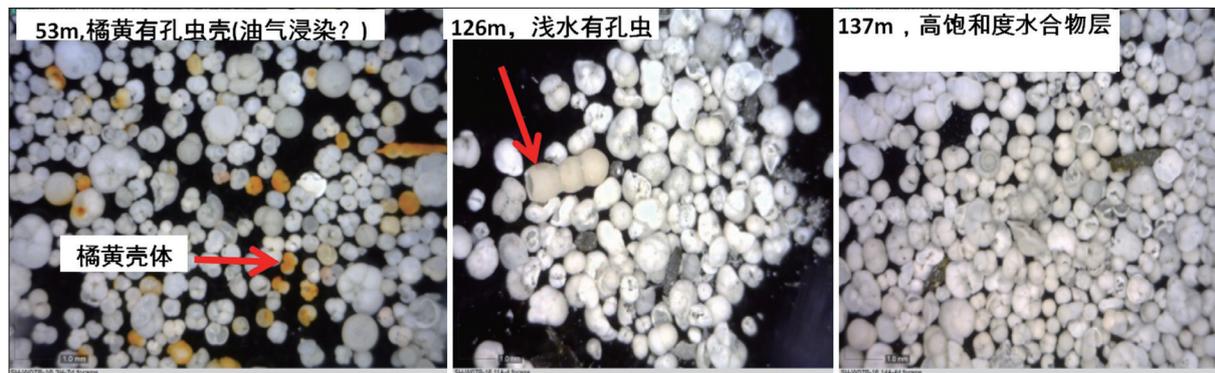
(四) 天然气水合物资源调查

◆ 神狐海域 2016 年 新发现高饱和度、高渗透率 水合物储层

2016 年在神狐海域实施第四次天然气水合物钻探 (GMGS-4 航次) 开展 11 个站位先导孔随钻测井, 其中 SH-W07-16 站位在 121 ~ 153m 发现异常高的声波速度和电阻率值。声波速度超过 2500m/s, 电阻率异常值达 12Ω·m。分别在 10 个层段对该站位进行取心, 53m 层段有孔虫含量丰富, 发现疑似油气浸染的橘黄色有孔虫壳体; 110m 层段黄铁矿发育;

物最大饱和度 75%。该站位含水合物层厚 30m, 水合物最大饱和度约 75%, 渗透率可达 40mD, 矿体面积约 12km²。

通过工作, 系统获取了水合物试采目标储层地质参数。对 3 个水合物试采目标井位进行了保压和非保压取心作业, 以及原位地层温压和原位渗透率测试, 现场对非保压取心样品进行了红外扫描、微生物取样、裂隙气及顶空气取样、孔隙水取样, 对保压样品进行了 CT 扫描、三轴岩土应力实验、渗透率实验、阶段释气测试, 系统获取了试采目标井位水合物储层的沉积物显微结构、储层原位渗透率、水合物饱和



SH-W07-16 站位取芯情况

126m 层段有孔虫主要为浅水有孔虫, 该层段对应随钻测井上的高伽马层, 原位渗透率测试 30mD; 137m 层段为高饱和度水合物层, 水合

度、气体组分、保压样品三轴岩土应力等方面详实数据, 为水合物试采顺利实施提供了重要支持。

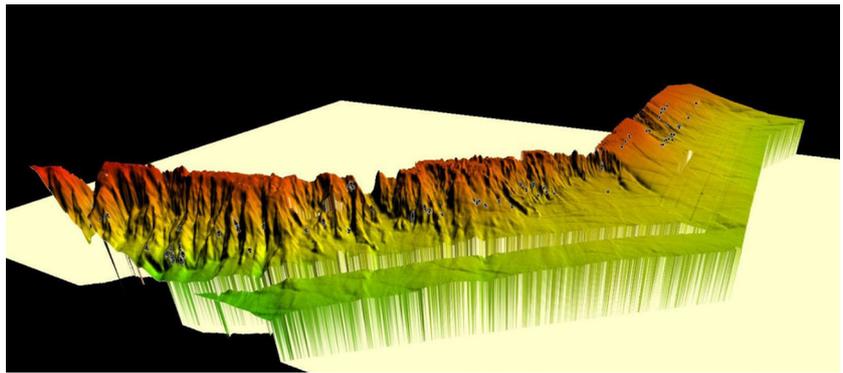
冷泉探测发现我国海域迄今规模最大的冷泉羽流

通过多波束水体影像资料处理，共识别出 300 余个气泡羽流。所有羽流均喷出海底 100m 以上，最大达 578m，是目前我国海域发现的规模最大的冷泉羽流。一系列原位调查确认该最大羽流发源于海底泥火山的冷泉泄漏，而其余羽流也均与麻坑、泥火山等地貌有密切关系。

经地质拖网原位取样，发现了形态多样的冷泉碳酸盐岩出露区，对碳酸盐岩进行实验室分析，碳同位素负异常明显， $\delta^{13}\text{CPDB}$ 值 $-22.68\text{‰} \sim 53.99\text{‰}$ (平均值 -39.74‰ , $n=43$)，和世界各地的冷泉碳酸盐岩在同位素组成和矿物学成分方面能很好对比。同时，对水体中的甲烷进行了随船甲板测试，发现了 10 余处水体剖面中的甲烷含量异常点。综合调查表明，气泡羽流、冷泉碳酸盐岩和甲烷异常均位于陆架斜坡

区，在平面上呈狭长带状分布，初步推断这些冷泉的形成可能受控于水深、地形、地貌或底水温度等因素。

该项成果将会进一步推动海底冷泉、热液两个极端环境系统耦合机制的研究，改变以往两个极端系统彼此隔绝独立的认识；拓展了研究全球气候变化的工作空间，热盆内发育冷泉泄漏的地质事实否定了热盆不大可能发育冷泉的传统观点，热液羽流与冷泉羽流两种系统潜



某海域多波束测深图及冷泉羽流泄漏点分布区（黑色圆点代表冷泉羽流）

在作用的评估将对全球气候变化研究有更全面认识。两种羽流活动，预示着该盆地内赋存着两种甚至多种有价值的经济矿产。

南海北部“海马冷泉”生物具多样性，历史甲烷渗漏量大

2016 年 3 月，“海洋六号”调查船利用 ROV“海马”号 ROV 及生物拖网调查手段，对南海北部水合物区“海马冷泉”进行了海底观测、地质调查及生物取样，发现“海马冷

泉”生态系统分布有多种化能合成生物组成的冷泉群落：①以宽型深海偏顶蛤 (*Bathymodiolus platifrons*) 为优势类群贻贝床群落，主要附生在硬底自生碳酸盐上，其它生物类群包括铠甲虾 (*Munidopsis* sp.)、螺类 (*Buccinum* sp.; *Provanna* sp.)、蛇尾 (*Ophiacantha* sp.)、海葵等；②以伴溢蛤 (*Calypptogena* sp.) 为主囊

蛤群落；③以西伯加虫科种类 (*Paraescarpia* sp.) 为主的管虫群落，囊蛤类和管虫个体大，囊蛤类体长超过 11cm，管虫体长超过 23cm，显示冷泉生态系统发育时间较长。其次对环境中 ¹⁶SrRNA 分子的高通量测序，发现在“海马冷泉”区沉积物中，特别是甲烷-硫酸盐转化带 (SMTZ) 含有丰富的甲烷厌氧氧化古菌 (ANME)，在底部的甲烷产生带 (methanogenesis) 除了已知的产甲烷古菌，还发现大量的未培养且功能未知的古菌 (如 MBGB 等)。

自生碳酸盐岩 $\delta^{13}\text{C}$ 值 $-43.0\text{‰} \sim -27.5\text{‰}$ ，指示其为甲烷缺氧氧化形成的冷泉碳酸盐岩； $\delta^{18}\text{O}$ 值 $2.5\text{‰} \sim 5.8\text{‰}$ ，显示 ¹⁸O 富集；含壳体的碳酸盐岩结壳以文石为主、无 Ba 富集和相对于 Mo 更加富集 U 元素，表明它们形成于紧靠海底的开放环境中。相反，碳酸盐岩结核、烟囱及无胶结壳体的碳酸盐岩结壳中出现 Ba 和 Mo 的富集，说明它们形成于更加缺氧的环境中，很可能反映了过去大量天然气水合物的分

解释。

此次对“海马冷泉”的调查研究，为水合物试采或开采期间针对性监测提供珍贵的资料，并且有助于将来对我国南海北部冷泉生态系统的进一步研究及保护。



海马冷泉区生物群落

(五) 数字海洋地质

◆ 一大批新的海洋地质数据公开发布

2016 年，整合推出了一大批新的、可供上线的海洋地质数据，并提供服务 (见下表)，加

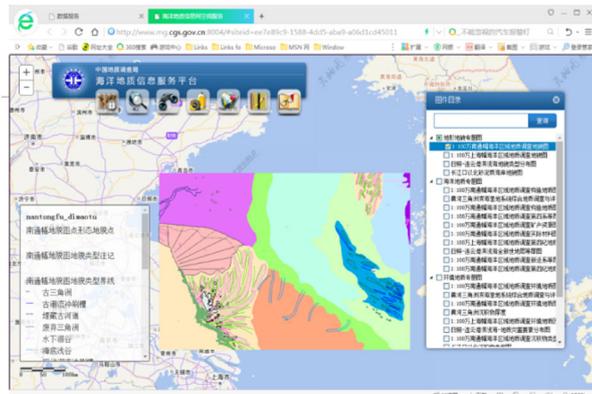
大海洋地质信息服务力度。同时，为促进海洋地质数据资源共享，充分发挥海洋地质数据资源的保障和支撑作用，推进海洋地质信息网建设，遵循互联网公共协议和 ODATA 数据开发协议，构建基于 REST 风格 API 的轻量级 Web

服务，以此为基础搭建海洋地质数据共享平台。优化完善了网站空间数据服务等功能模块；完成了网站安全等级测评和安全保护及网站全部

上线数据的保密审查；保证数据持续更新和服务；完成网站手机移动版 APP 应用研发，创新网站使用新模式。

2016 年公开发布的新数据

类别	内容	数量	发布形式
调查数据	地质取样	7703 个	目录信息
	海水取样	646 个	
	低层大气	1029 个	
	CTD	397 个	
	单道地震	54506.21km	
	多道地震	19686.7015km	
	侧扫声呐	42309.06km	
	浅层剖面	58339.6km	
	多波束测量	53004.3km	
调查数据	单波束测深	65503.61km	目录信息
	海流测量	定 53 个；6173.32 km	
	工程钻探	24 口 2112.34m	
	水工环样	555 个	
	水文地质钻探	441.84m	
	第四纪地质钻探	626.7m	
	地质浅钻	147 口，6148.43 m	
成果图件	53 个项目成果图件	133 幅	矢量文件
调查报告	54 个项目调查报告	64 个	Pdf 文件



海洋地质信息网——空间数据服务



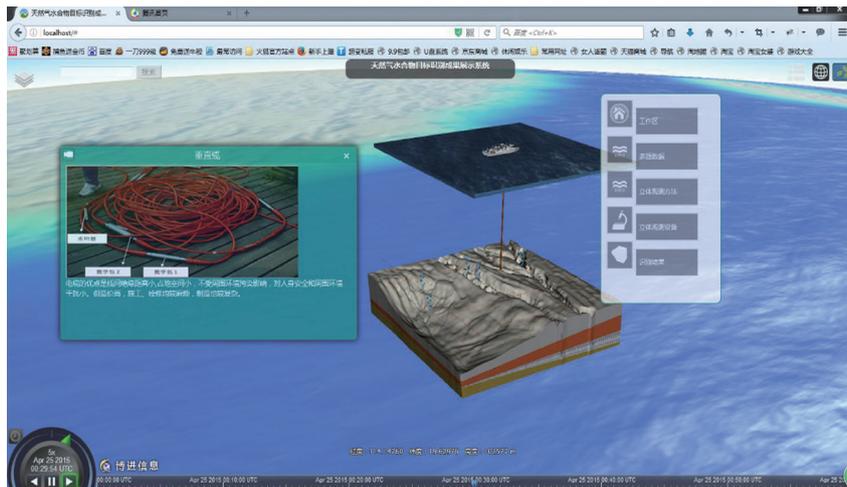
海洋地质信息网移动 APP

◆ 天然气水合物数据集成及共享服务平台初步建成

对 2016 年以前获取的天然气水合物野外勘查数据进行了系统性的检查入库工作，并制作了相应图件，为天然气水合物试采、勘查提供数据支撑。天然气水合物数据涵盖野外勘查实测数据、研究成果数据等。数据专业种类包括：地球物理、地球化学、现场测试分析、钻井数据等等。其中重点核对整理了地震数据、多波束数据、取样站位数据、钻井数据、ROV 数据等。目前，收集管理原始数据及备份数据总量约 50T，其中，取样站位信息 2521 个站位，钻

井信息 37 个钻孔，多道地震信息 115582km，摄像观测信息 531 个站位。建立了一整套天然气水合物数据入库规则及方法，设计了原始数据与数据库数据的转换接口，自行编制相应程序解读国外仪器设备获取的原始数据。为水合物数据管理奠定了扎实基础，实现了数据方便、快捷、安全入库。

初步建成天然气水合物数据集成及共享服务平台，为“一站式”数据共享服务奠定了基础，提高数据共享服务水平，为勘查试采提供实时、全方位的数据支持。在此基础上，编制了相应调查程度图，提供研究及部署人员及时了解我国南海天然气水合物调查程度。



天然气水合物共享服务平台

◆ 海洋地质数据成果三维展示提升海洋地质信息服务水平

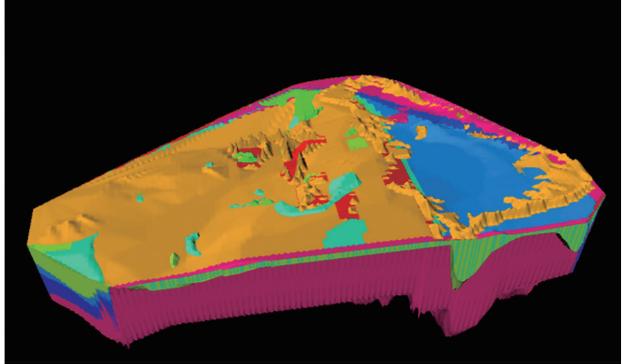
立足于海洋地质资料与数据成果海量多源的实际特点，结合海洋地质调查业务部门的展示

应用需求，采用国内外先进的三维展示开发与平台，在海岸带地质调查与海洋油气资源调查数据三维展示与应用方面取得了显著进展。

基于 SkyLine 平台基本建成了我国北方海岸带区域三维场景，开发了三维海底展示、



重点海岸带区域海水淹没模拟



重点油气勘查区域三维地质建模

立体量测、水淹分析等功能模块，可实现球体模型上海洋地质调查数据与成果的综合展示，提高了成果展示与应用水平。基于 Open Inventor 平台初步建成了我国油气勘探重点海域地质体三维模型，开发了三维地质体模型可视化展示组件，实现了海洋油气地质调查地震解释剖面图、构造区划图、等深度构造图、断

裂分布图以及钻井资料等资料管理与展示。

应用三维技术推动了海洋地质调查成果由传统的平面展示向三维立体展示的转变，为地质专业人员开展业务领域研究提供了有力的分析工具，提高了海洋地质调查与科研的信息化水平，促进了海洋地质调查数据与成果的转化应用与网络化服务。

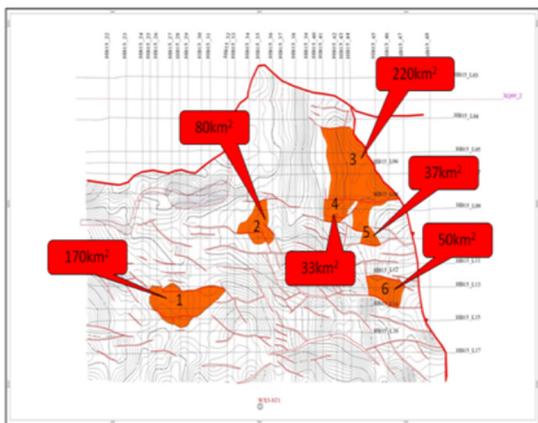
（六）海洋资源调查关键技术研发

● 南黄海“高富强”地震勘查新技术锁定油气钻探目标

在南黄海崂山隆起实施新的地震勘查技术，提出并完善了调查参数井井位建议，为落实下古生界烃源岩、建立早古生代地层层序，并最终实现南黄海油气新层系油气发现和突破奠定基础。

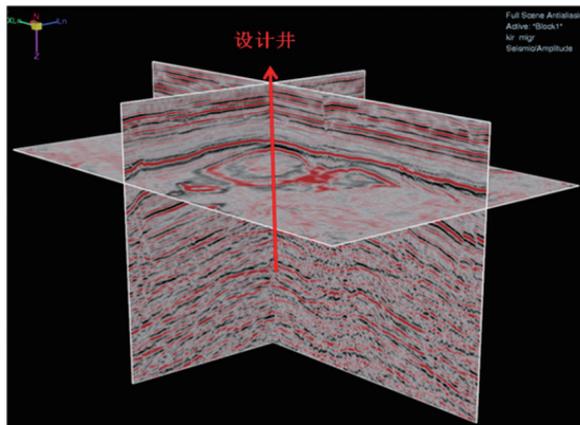
通过工作，形成了适用于崂山隆起地震地质

条件的“高富强”（高覆盖次数、富低频、强震源）地震勘查技术，该技术覆盖次数 96 次，富含 5 ~ 25Hz 的强能量低频成分，震源容量 6390 立方英寸，最大探测深度超过 15000m。通过地震资料攻关处理、新老地震资料联片解释和海陆对比，建立了南黄海崂山隆起完整的海相地层地震层序。地震资料精细解释，确定了崂山隆起中部是海相中—古生界的重点目标区，面积约 6000km²。该区发育 6 个



南黄海崂山隆起 T10 反射层圈闭分布 (图中标注了各圈闭编号及其面积)

主要圈闭构造, 地层发育齐全、地质构造相对简单, 总面积达 590km²。通过地震资料特殊处理和油气地质条件分析, 认为 1 号和 3 号构造石油地质条件优越, 其中 3 号是首选钻探靶区。运用该技术获得了较高品质的海相中 - 古生界反射资料, 为区内油气调查与勘探的突破



3 号圈闭构造的井位设计方案

提供了技术支撑。

已有研究表明南黄海盆地海相新层系油气远景好, 但目前勘探程度低、商业投入难以下决心, 亟待调查参数井破解难题。调查参数井井位的落实将为下扬子区及海域海相新层系的油气突破奠定基础, 具有重要意义。

● 海域天然气水合物钻探取样装备完成优化试制

完成了海域天然气水合物保温保压取样钻具的优化与样机试制。保温保压取样器是取样工作效率和质量的关键, 通过对保温保压取样的密封机构进行改进优化, 提高了密封翻板机构的可靠性, 对压入式保温保压取样钻具的稳定性进行了优化, 同时针对坚硬地层条件完成了回转式长筒保温保压取样钻具的首轮样机试制, 同时开展了保温真空管、取样钻头、取样管鞋及打捞器的优化。通过进行室内试验显示,

采用补压装置的前提下, 压力保持在 90% 以上, 可满足天然气水合物保压需要。真空双层保温内筒失温速率在 5℃ /h 以内。针对海上试验要求, 完成了钻具海试前的准备工作。

针对海域钻探的特点, 对海洋钻探冲洗液进行了优化和正交试验。初步确定了采用抗盐共聚物、聚丙烯酰胺等处理剂的低温环保冲洗液配方, 通过室内试验验证后其冰点可达 -15℃。

完成了优化后取样适配装备——取样基盘和取样绞车样机的室内模拟试验。取样基盘可在保温保压取样的过程中为取样钻具提供水下

井口和钻杆夹持功能，通过室内模拟工况试验验证，经过优化后的取样基盘可适应水深 3000m 工况下 30MPa 压力要求，取样绞车可提供 $\pm 3\text{m}$ 海浪的升沉补偿功能，避免样品扰动。

已经初步完成了海域天然气水合物取样技术装备的自主化，基本形成以保温保压取样钻具为核心的具备自主知识产权的取样技术体系。



保温保压取样钻具

