



## 七 地质科技支撑

2014年以来，根据国家科技体制改革的新形势、新任务、新要求，紧紧围绕解决影响重大资源、环境、灾害问题需要的重大基础地质问题和关键技术方法，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，充分发挥地质科学技术的引领和支撑作用。

一是基础地质调查研究亮点纷呈。新一代地层表正式发布实施，在云南罗平县发现世界最大幻龙头骨及水下觅食足迹，在江西赣州发现霸王龙新类型——中国虔州龙和窃蛋龙新类型——赣州华南龙，在辽西发现新驰龙类恐龙——孙氏振元龙和喙嘴翼龙类翼龙——朝阳东方颌翼龙；首次揭示南极大陆岩石圈三维整体格架；在华夏地块发现同位素年龄为41.27亿年的亚洲最古老锆石，在华北地块鉴别出38~26亿年发生的3期重要地质构造事件，地球深部探测理论与技术与国际平行，取得具有重要国际影响的创新研究成果。

二是新技术新方法新装备得到推广应用。

自主研制“地壳一号”万米钻机，实施松辽盆地超深科学钻探工程，技术指标达到国际先进水平，大口径同径长钻程超千米连续取心和单回次进尺创钻探世界纪录；成功开发航空地球物理数据处理解释系统、无人机航空物探综合站、瞬变电磁测量系统并实现实用化；深孔地—井TEM三分量测量系统、国产大功率多功能电法、阵列多频相位激电系统为深部隐伏矿体找矿提供了有效的技术支撑。

三是科技引领找矿实现重要突破。创新成矿理论、找矿模型及勘查方法，发现四川甲基卡超大型稀有金属矿床，指导内蒙古哈达门沟金矿实现找矿重大突破，探获黄金资源储量23吨；在柴达木盆地西部阿尔金山前发现资源量超过3.5亿吨的新型砂砾富钾卤水层，在塔里木库车凹陷发现厚达百米的古近纪含钾盐矿层及厚度41米达工业品位的氯化钾盐层，在四川盆地发现宝贵的缓释钾肥——三叠系杂卤石，有望形成新的钾盐生产基地。



# 1 地层与古生物

## ◆ 新一代中国地层表 正式发布

《中国地层表》充分反映了13年来国内外地层学研究和地层工作进展,必将对全国地质调查工作产生重大而深远的影响。

建立了中国与国际年代地层系统之间的精确对比关系,充分反映了各地质时期岩石地层的展布状况,各地质历史阶段的地质年龄、生物地层序列、磁性地层、地质事件、海平面升降等的变化特征。根据最新研究进展,对中元古代、新元古代、寒武纪、侏罗纪—白垩纪等的地层划分方案作了重要调整,对中生代和部分古生代阶名进行了重新命名。

列出了国际地层表的年代地层系统与中国的年代地层系统,以促进我国地层研究与尽快国际接轨。建立了中国北方、南方和青藏高原3个地区之间生物地层和岩石地层的对比关系。对中元古界、新元古界、寒武系、侏罗系—白垩系界线的划分方案作了重要调整,整个中元古界的年限仍然是1800~1000百万年,其中长城系的年限由原来的

宇	界	系	统	阶	地质年龄 (Ma)	宇	界	系	统	阶	地质年龄 (Ma)
显生宇	新生代	第四系	全新统	未建阶		显生宇	古生代	志留系	普里多利统	未建阶	
			更新统	萨拉乌苏阶	0.0117				拉德福统	卢德福德阶	418.7
			上新统	周口店阶	0.126				洛德统	戈斯特阶	422.9
				泥河湾阶	0.781				文洛克统	侯默阶	428.2
		渐近系	上新统	群则沟阶	2.588				奥陶系	申伍德阶 (安康阶)	428.2
				高庄阶	3.6					南塔溪阶	马姆湾阶
			中新统	保德阶	5.3			埃隆阶 (大中坝阶)		埃隆阶 (龙马溪阶)	445.6
				灤河阶	7.25			赫南特阶		赫南特阶	458.4
			渐新统	通古尔阶	11.6			上奥陶统		钱群江阶	467.3
				山旺阶	15.0			中奥陶统		达瑞威尔阶	470.0
				谢家阶	23.03			下奥陶统		益阳阶	477.7
				控本布勒阶	28.39			新厂阶		新厂阶	485.4
	古近系	始新统	乌兰布拉格阶	33.80	寒武系	芙蓉统	牛牛河阶				
			蔡家冲阶	38.87		第三统	江山阶				
		渐新统	垣曲阶	42.67		第二统	推群阶	49.7			
			伊尔丁曼哈阶	48.48		第一统	王村阶	50.7			
		古新统	阿山头阶	55.8 ± 0.2		第二统	都匀阶	52.1			
			池江阶	61.7 ± 0.2		第三统	梅树村阶	52.1			
		白垩系	上白垩统	上湖阶		65.5 ± 0.3	第三统	曹宇阶			
				绥化阶		79.1	第二统	灯影峡阶	55.0		
			中白垩统	松花江阶		86.1	第一统	昂隆阶	58.0		
				永安阶		99.6	第一统	陈家园子阶	61.0		
	下白垩统		江西阶	119	第一统	九龙湾阶	63.5				
			热河阶	130	第一统	上南华统	66.0				
	中生代		上侏罗统	冀北阶	145	南华系	中南华统	72.5			
				未建阶		下南华统		78.0			
			中侏罗统	玛纳斯阶	180 ± 4	震旦系	震旦系	1000.0			
				石河子阶	195 ± 4	震旦系	待建系	1400.0			
		下侏罗统	碛滩沟阶	199.6	震旦系	蔚县系	1600.0				
			永丰阶	247.2	震旦系	长城系	1800.0				
		上三叠统	麻姑铺阶	252.17	震旦系	潘沁系	2300.0				
			五智梁阶	254.14	震旦系	潘沁系	2500.0				
		中三叠统	新铺阶	260.4	震旦系	潘沁系	2800.0				
			关刀阶	299	震旦系	潘沁系	3200.0				
	下三叠统	麻湖阶	247.2	震旦系	潘沁系	3600.0					
		印度阶 (殷坑阶)	251.1	震旦系	潘沁系	4000.0					
	乐平统	长兴阶	252.17	震旦系	潘沁系	416.0					
		美家坪阶	254.14	震旦系	潘沁系	416.0					
	二叠系	冷垵阶	260.4	震旦系	潘沁系	416.0					
		孤峰阶		震旦系	潘沁系	416.0					
	古生代	阳新统	祥磨阶		震旦系	潘沁系	416.0				
			罗甸阶		震旦系	潘沁系	416.0				
船山统		隆林阶		震旦系	潘沁系	416.0					
		紫松阶	299	震旦系	潘沁系	416.0					
上石炭统		遇通阶		震旦系	潘沁系	416.0					
		达拉阶		震旦系	潘沁系	416.0					
下石炭统		滑石板阶		震旦系	潘沁系	416.0					
		罗苏阶	318.13	震旦系	潘沁系	416.0					
下泥盆统		德坞阶		震旦系	潘沁系	416.0					
		维宪阶		震旦系	潘沁系	416.0					
上泥盆统	杜内阶	359.58	震旦系	潘沁系	416.0						
	邵东阶		震旦系	潘沁系	416.0						
中泥盆统	阳朔阶		震旦系	潘沁系	416.0						
	锡矿阶	385.3	震旦系	潘沁系	416.0						
下泥盆统	宗天桥阶	397.5	震旦系	潘沁系	416.0						
	东南岭阶		震旦系	潘沁系	416.0						
下泥盆统	应室阶		震旦系	潘沁系	416.0						
	四排阶		震旦系	潘沁系	416.0						
下泥盆统	柳江阶		震旦系	潘沁系	416.0						
	那高岭阶		震旦系	潘沁系	416.0						
下泥盆统	莲花山阶	416.0	震旦系	潘沁系	416.0						
	莲花山阶		震旦系	潘沁系	416.0						

中国地层表 (2014年)

1800 ~ 1400 百万年调整为 1800 ~ 1600 百万年；蓟县系年限由原来的 1400 ~ 1000 百万年，调整为 1600 ~ 1400 百万年；1400 ~ 1000 百万年期间目前暂以“待建系”处理。根据寒武系研究进展和国际上寒武系划分方案的变化，对

寒武系划分方案作了调整，删去原来传统的划分三统十阶的方案，改用国际上已通用的划分四统十阶的方案。在地层表编写过程中，将白垩系—侏罗系的界线年龄由 137 百万年调整为 145 百万年。

### 古生物研究取得新进展

远安动物群中脊椎动物化石发掘取得重大突破，在辽宁北票四合屯发现了一种新的鸟类化石（林氏星海鸟）；在辽西早白垩世地层中发现了大型的、短前肢的新驰龙类恐龙——孙氏振元龙，首次为大型、短前肢类型的驰龙类提供羽毛形态学方面的重要信息，为研究驰龙类的多样性、鸟类羽毛以及飞行起源提供了重要依据；在辽西发现的喙嘴翼龙类翼龙——朝阳东方颌翼龙，为该区晚侏罗世地层中发现的第一件翼龙标本，不仅填补了时代上的空白，同时对于印证晚侏罗世喙嘴龙类的辐射演化具有重要作用”；在江西赣州发现霸王龙新类型——中国虔州龙和窃蛋龙新类型——赣州华南龙，

首次提出赣州恐龙动物群的概念，对于研究该区古生物物种的系统演化、古地理分布与其他动物群对比等具有重要的指导意义；在内蒙古阿拉善盟发现晚白垩世恐龙动物群；在河南浙川盆地发现 8 窝原地埋藏的恐龙蛋化石。在三峡地区埃迪卡拉纪地层剖面发现丰富的微体化石，包括 3 个新属 52 个新种，建立 2 个疑源类化石组合及微体化石生物地层序列，为生物演化和地层对比提供了重要证据，极大地丰富了埃迪卡拉纪古生物群面貌，并划分出 2 个微体化石组合和 4 个宏体化石组合，并初步建立起这些组合的洲际对比关系，进而为埃迪卡拉系在统一级的划分上提出了建设性的建议（将峡东地区埃迪卡拉纪年代划分为 2 统 5 阶或 2 统 7 阶）。



东方颌翼龙



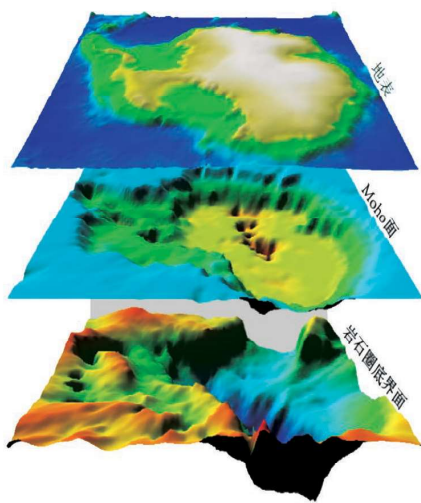
华南龙复原图

## 2 地质构造

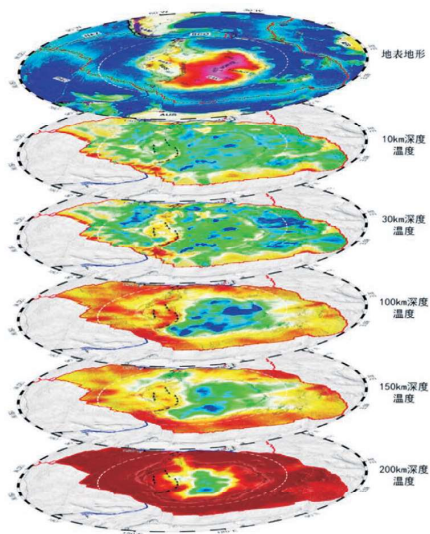
### 首次揭示南极大陆岩石圈三维整体格架

使用美国、中国等国家在气候环境极端恶劣的南极内陆高原获得的最新观测数据,在国际上首次获得了南极板块高精度岩石圈三维结构,查明了南极大陆整体构造格架,解决了南极重要的基础地质问题,发现了20

百万年前俯冲到南极半岛之下的板片残余,揭示了东南极山系是冈瓦纳超大陆最后聚合形成时的缝合带,促进了全球板块构造理论体系的健全和发展。主要成果发表在《地球物理研究杂志》(JGR)、《南极科学》(Antarctic Science)等国际核心期刊,在国际上产生了重要的学术影响,提高了中国在南极事务中的影响力。



南极大陆地壳和岩石圈三维界面



南极板块三维温度

### 地球深部探测与国际平行

深部探测技术与实验研究专项(SinoProbe)系统构建了适应我国地球深部特征的立体探测

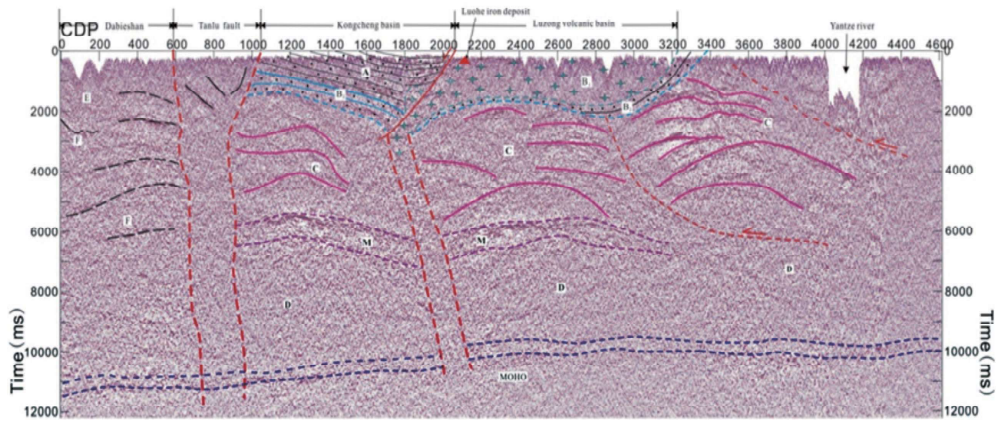
现残存的古沉积盆地,为“大庆之下找大庆”提供了战略依据。在西藏罗布莎等地发现系列深部地幔物质,首次确认蛇绿岩型铬铁矿的高压成因和蛇绿岩型金刚石成因类型,为在雅鲁藏布江谷



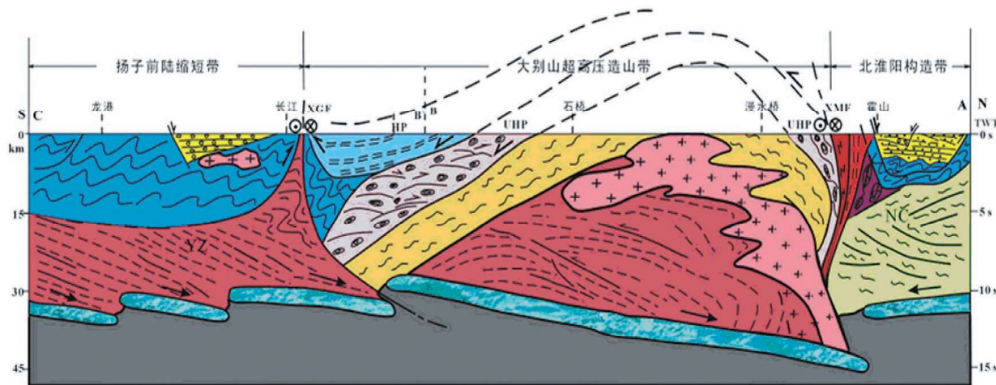
## 七、地质科技支撑

技术体系；自主研发的多套深部探测关键仪器设备达到国际先进水平，地球深部探测带动了重大科学发现，我国跻身世界深部探测大国行列。首次切穿世界屋脊的青藏高原巨厚地壳获得“CT”断面，揭示了青藏高原腹地的地壳厚度最薄（65千米）；横穿龙门山断裂带的深地震反射剖面，显示扬子地块基底越过龙门山断裂带向西达到龙日坝断裂之下；第一次揭示了松辽盆地之下的古太平洋板块与鄂霍次克洋板块对冲的岩石

圈结构；横穿华南大陆的2000千米超长地壳断面，在四川盆地之下发现扬子克拉通内部的古老俯冲带，在雪峰山之下发现隐伏的古老造山带，为重塑华南大地构造格架与演化历史提供了深部依据；首次在东南沿海发现侏罗纪古太平洋板块作用的记录。发现白垩纪/古新纪界面铍异常，提供小行星撞击造成恐龙灭绝的证据。研究发现一批具有战略意义的重大找矿线索，为实现找矿战略行动计划提供有力支撑。穿透大庆油气盆地发



长江中下游庐江-枞阳矿集区深反射地震剖面及解释图



大别山造山带及前陆地壳构造断面

地及类似构造环境下铬铁矿找矿突破提供战略方向。地球化学基准网发现我国北方存在巨型的稀土元素聚集区,指示了发现超大型稀土矿床的空间。构建了安徽庐江—枞阳矿集区10千米以浅的3D结构,基本实现矿集区“透明化”,在庐—枞矿集区发现深部正长岩中上百米厚铀元素富集

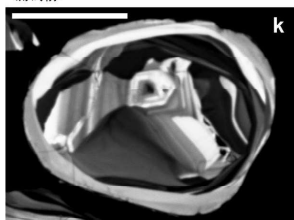
带。南岭成矿带于都—赣县矿集区立体探测,揭示了岩浆系统的结构框架,发现一批重磁电异常,证实了“五层楼+地下室”的找矿模式,发现深部厚大矿体和新类型矿床的重要找矿线索,实现了深部找矿重大突破。

### ● 华夏地块发现亚洲最古老的锆石

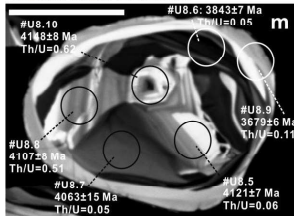
华夏地块龙泉地区发现亚洲最古老锆石、揭示华北古老大陆地壳结构及演化过程两项成果入选2014年度地质科技十大进展。在龙泉岩群云母石英片岩中发现了2颗41亿年的碎屑锆石,为目前亚太地区发现的最老碎屑锆石。首次在华北克拉通划分出3个年龄大于26亿年的古陆块,深化了华北克拉通早期地壳演化、壳幔相互作用及沉积变质铁矿的认识。

#8号锆石\_分析面-3:

测试前:

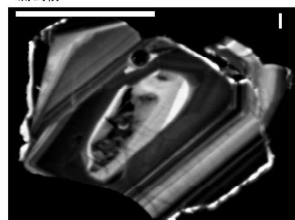


SHRIMP测试点位及其结果:

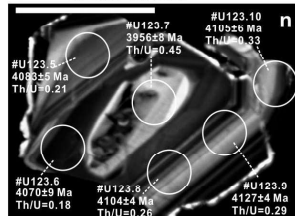


#123号锆石\_分析面-3:

测试前:



SHRIMP测试点位及其结果:



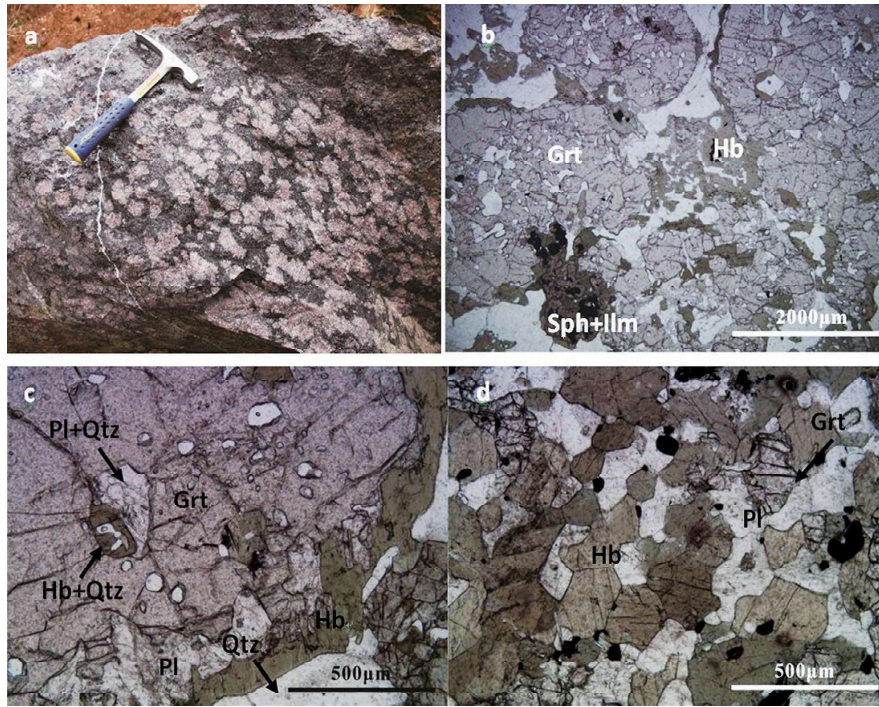
华夏地块冥古宙锆石阴极发光 (CL) 图

### ● 扬子—华夏地块碰撞时限取得新认识

在赣东北蛇绿混杂岩带中发现约800百万年的高镁安山岩,指示当时扬子东南缘仍存在洋壳俯冲,扬子和华夏两大块体尚未发生碰撞拼合;在浙江龙游地区发现早古生代榴闪岩,暗示两大块体可能在加里东期才真正碰撞拼贴,

并曾经历了强烈的深俯冲—快速折返过程。这对于重新审视华南的大地构造格局及其演化、查明区域成矿地质背景,具有重要意义。

在赣东北蛇绿混杂岩带的樟树墩地区新发现高镁安山岩,LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄为 $794.8 \pm 6.0$ 百万年,  $\text{SiO}_2$ 含量为54.90%~58.45%,具有高MgO含量(6.39%~8.76%)、高Mg<sup>#</sup>值(64~71)、



龙游榴闪岩露头 and 显微照片

中等  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量 (15.31% ~ 16.77%, 平均 < 16%)、低  $\text{TFeO}/\text{MgO}$  值 (0.87 ~ 1.20) 的特点, 富集轻稀土元素且具弱负 Eu 异常, 明显富集 LILE 而亏损 HFSE, Sr 含量 (普遍 <  $200 \times 10^{-6}$ ) 和 Sr/Y 值 (4.11 ~ 7.29) 均较低, 具有典型高镁安山岩的地球化学特征, 类似于日本 Setouchi 火山带的赞岐岩类。锆石  $\epsilon_{\text{Hf}}(t) = +10.23 \sim +17.79$ , 表明它们起源于 MORB 型强亏损地幔。高镁安山岩的发现指示, 约 800 百万年双溪坞弧西侧仍存在洋壳俯冲, 扬子和华夏两大块体尚未发生碰撞拼合。

浙江龙游榴闪岩呈孤立小岩块产出于八都岩群长英质片麻岩中, 其  $\text{SiO}_2$  含量为 42.58% ~ 52.56%, 相对富  $\text{Ti}_2\text{O}$  (> 2.2%)

和  $\text{Na}_2\text{O}$  ( $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} > 2.4$ )、高 Nb ( $> 6 \times 10^{-6}$ ), 锆石  $\epsilon_{\text{Hf}}(t) = +0.95 \sim +5.47$ , 说明原岩为岛弧富铌玄武岩类。其变质作用具顺时针 P-T-t 轨迹: 早期角闪岩相进变质矿物共生组合为角闪石 + 斜长石 + 石英, 温压条件为 719 ~ 795 °C 和 7.56 ~ 8.30 千帕; 中期榴辉岩相峰期变质矿物共生组合为石榴子石 + 绿辉石 (后期退变为透辉石 + 钠长石) ± 石英, 温压条件为 668 ~ 821 °C 和 26.42 ~ 33.46 千帕; 晚期角闪岩相退变质形成榴闪岩, 矿物共生组合为石榴子石 + 角闪石 + 斜长石 ± 石英, 温压条件为 611 ~ 854 °C 和 4.76 ~ 9.30 千帕。榴闪岩的变质锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为  $454 \pm 4$  百万年, 反映华夏和扬子两大块体碰撞发生于加里东期, 可能经历了深俯冲和折返过程。

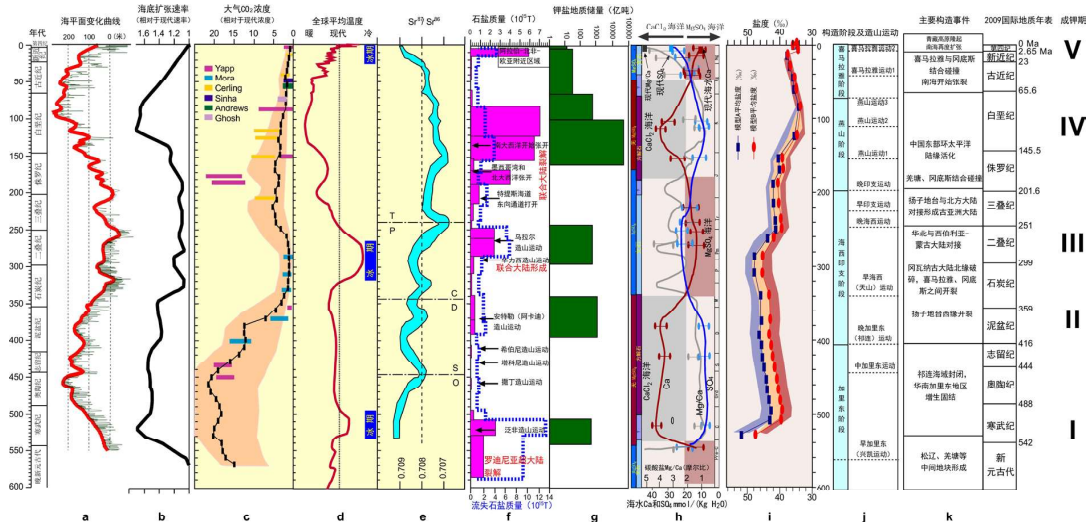


## 3 成矿规律

### ● 破解中国小陆块成钾难题

基本查清我国主要小陆块来源及漂移、演化历史、成盐成钾时期所处的古纬度与气候带的关系，揭示主要海相成钾期与板块漂移和亚热带干旱带的耦合密切相关。揭示了全球板块运动控制表生成钾的演变规律，即古生代，克拉通大型拗陷陆表海盆地成钾，盆地面积巨大；中生代，主要为特提斯海域小陆块海相盆地成钾；新生代，主要为大陆裂谷盆地成钾。阐明陕北盆地钾盐沉积于构造稳定区（陆核）中相对活动（断裂发育）的亚稳定区，明确了东二盐田马五6亚期中下段为成钾有利层位；建立羌塘盆地中—上侏罗统高精度磁性地层序列，

明确了夏里组上部为最佳成盐层位；通过系统古地磁以及孢粉年代学制约，确定了兰坪—思茅盆地勐野井组的年代为白垩纪中晚期，结合该组地层火山凝灰岩锆石年龄测定 100 ~ 110 百万年，确定勐野井组地层为白垩纪 Albian 期—Cenomanian 期；初步建立了兰坪—思茅盆地成盐成钾时期的极端干旱气候事件序列，确定了最佳成盐成钾期，其成钾期与呵叻盆地成钾期基本一致。提出了中国海相盆地“时间窗—极早事件成钾”模式；基于中国盐盆沉积韵律非常发育，这一困扰中国古代海找钾的重大理论问题，系统研究世界钾盐形成规律和中国海相蒸发沉积特征，提出了“短期极早成钾”，即地质历史时期内，如果在一般干旱期内出现



显生宙以来全球海底扩张速率、海平面升降、大气CO<sub>2</sub>浓度、气温、锶同位素、海水化学组成、盐度与石盐和钾盐地质储量变化



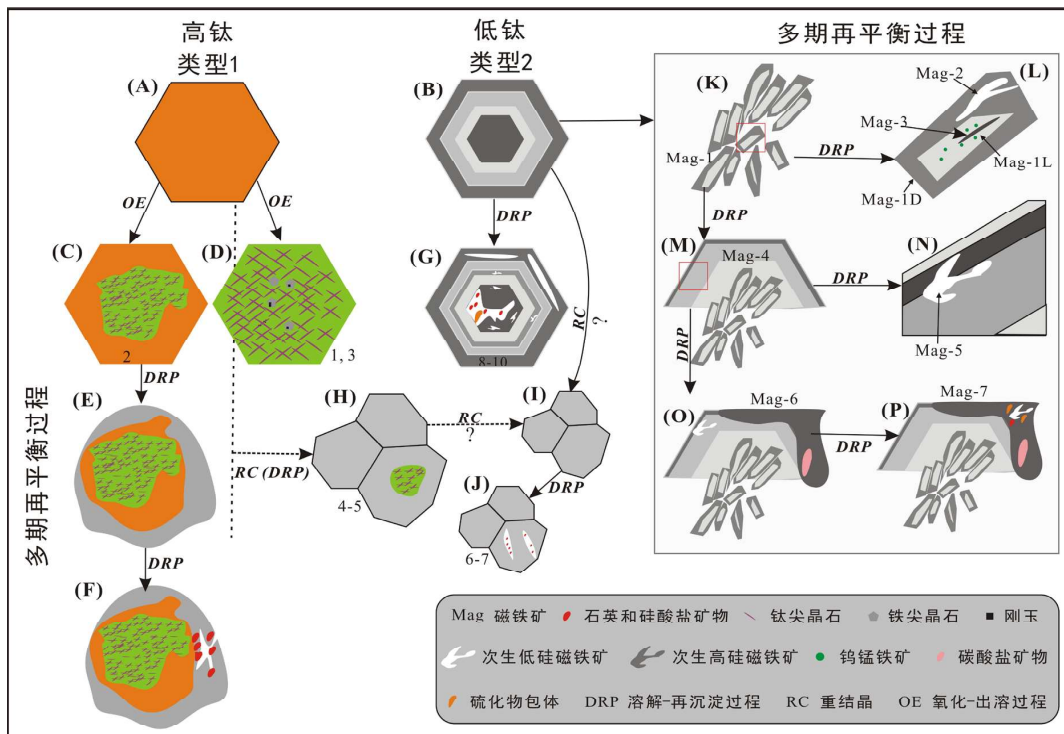
短期的极端干旱事件即“成钾时间窗”，可以促使古盐湖强烈持续蒸发浓缩，钾盐快速析出沉积成矿；提出极端干旱气候是钾盐沉积的首要前提条件。提出了东特提斯域中国小陆块成钾模式，即为“碰撞—湖链—海退”成钾模式，在小陆块“湖链”的远端次级盆地最有利于钾盐沉积；系统总结了裂谷盆地成钾特征，提出大陆裂谷盆地成钾模式。初步建立了四川盆地

深层卤水的测井识别方法，并以思茅盆地勐野井钾盐矿为研究对象，建立了其地球物理响应特征模型。建立兰坪—思茅盆地钾盐资源预测模型，预测兰坪—思茅盆地未探明钾盐氯化钾资源量 1.98 亿吨；并基于裂谷成钾模式指导，在江陵凹陷开展找钾勘查，获得深层富钾卤水氯化钾预测资源量 2 亿吨。

### 聚焦富铁矿，研究进展大

认为早前寒武纪阿尔果马型和苏必利尔型条带状铁建造具有成因联系，是同时异相沉积

产物；认为我国鞍山式磁铁富矿的后期热液叠加改造成矿机理有“去硅富铁”和“铁质活化再富集”两种形式，前者与 18 亿年大气降水成因的热液交代贫铁矿并带走硅质使铁质残留富



矽卡岩型铁矿床中磁铁矿的溶解-再沉淀机理



集形成富铁矿，成矿规模及潜力巨大；后者与更早的混合岩化热液将贫铁矿中铁质活化再沉淀有关，矿化分散，规模小，找矿前景不大。认为从中酸性岩浆中出溶的高温、高盐度、还原性岩浆热液与溶解了蒸发岩层的外部流体发生流体混合，在该过程中岩浆热液中的二价铁被氧化形成三价铁，从而导致磁铁矿的大量沉淀，磁铁矿的溶解—再沉淀现象是形成矽卡岩型富铁矿的重要机制。通过国内外系统对比研究，提出陆相火山岩型铁矿和海相火山岩型铁矿成矿过程具有相似性。分析对比了攀西地区红格、攀枝花、白马和太和4个大型矿床的特征，提出了控制岩浆型矿床形成的关键因素：

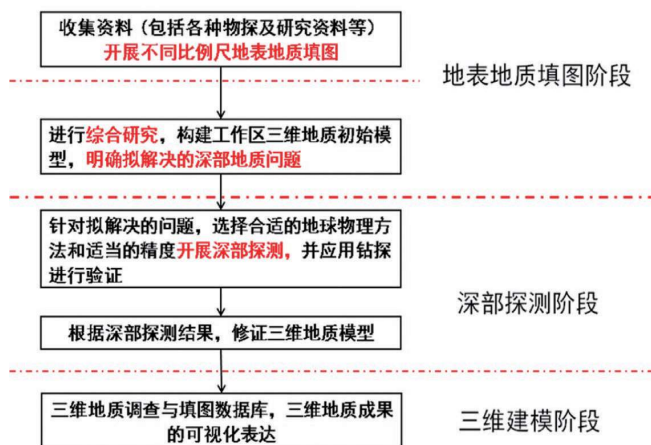
①富铁钛母岩浆为大量铁钛氧化物结晶—堆积成矿提供了根本的物质基础；②流动分选是形成块状矿石及稠密浸染状矿石重要的物理机制。对以大冶地区为代表的矽卡岩型铁矿区进行三维梯度反演及低缓磁异常提取与评价，做出大冶地区在深度1000米以下空间仍可能存在矿体的推测。认为攀西矿集区富铁矿床形成的地球动力学背景为地幔柱作用和岩石圈地幔的加入，提出与攀西具有相似地球动力学过程的塔里木大火成岩省具有寻找大型钒钛磁铁矿的找矿潜力。综合分析各类富铁矿的成矿特征，认为海相火山岩型和沉积变质型富铁矿为我国下一步寻找富铁矿的主要目标。

## 4 填图试点

### 三维地质调查试点成果

将三维地质调查科学划分为地表地质填图、深部探测和三维建模三个阶段，建立了现今我国三维地质调查总体工作流程，开发了具有自主知识产权，适合我国特点的三维地质填图PRB双重建模技术方法，研制了三维地质调查成果集成及可视化平台，形成了我国三维地质调查方法技术体系，和针对不同地区、不同地质问题的三维地质调查技术方法组合。

#### 工作流程



在编制了深部地壳结构探测、成矿带与矿集区，经济区与城市群的三维地质调查系列技术指南的基础上。按重要成矿带与矿集区、重要造山带、重要经济区与城市群等分类、分层次试点探索建立了 25 个不同尺度、反映不同内容的三维地质模型。例如：在本溪—临江地区构建深部地质结构和展布模型，

揭示了鞍本地区南部深部存在巨大铁矿找矿潜力，褶皱及相关的拉伸剪切作用是后期铁矿富集的重要因素；针对铜陵矿集区提出了“一体两带多层成矿系统”三维成矿模式；揭示了松辽盆地外围与油气有关的上二叠统林西组的深



太古代含铁建造三维地质模型

部展布特征；重新划分了龙门山构造带 8 ~ 10 千米以上的地质结构；解析了与地震密切相关的深大断裂向下的延伸形式，以及龙门山构造带的地质演化动力学过程；揭示了黄淮三角洲第四系地层结构特征等。

### ◆ 地质填图试点探索现代填图方法

初步开展了陆相沉积地层、不同类型花岗岩、火山岩、前寒武纪变质岩、复杂构造区、蛇绿混杂岩等 1 : 5 万标准图幅填图、专题填图及三维地质填图试点。

陆相沉积地层填图：在冀北尚义陆相沉积盆地开展的 1 : 5 万填图试点，采用岩石地层 + 沉积相和盆地分析要素结合地质填图，不仅能更好展现地层时空分布、物源供给和盆地动态演化，也将为解决盆地构造属性，特别是为在区域上研究晚中生代燕山造山带的演化提供最基础资料和数据支撑。

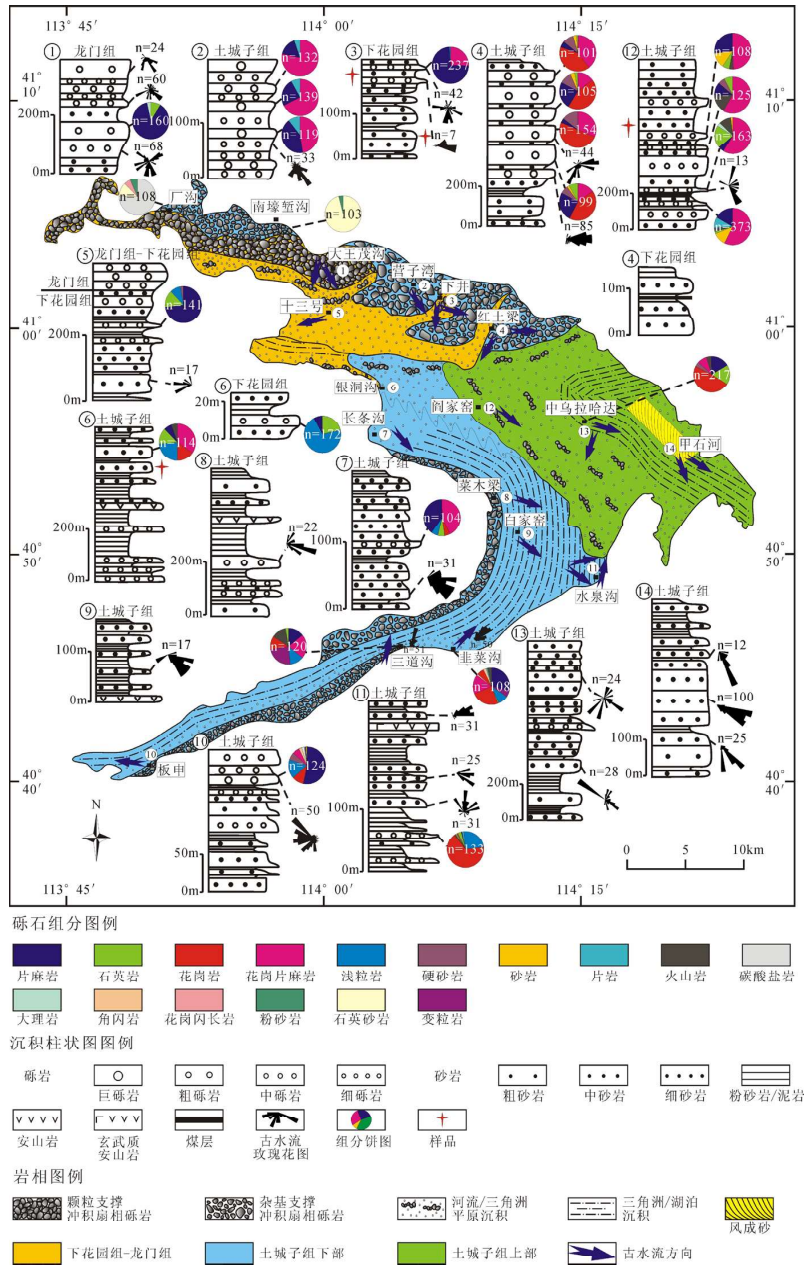
花岗岩填图：针对内蒙古晚古生代和中生代后造山钙碱性和碱性花岗岩，应用“岩性 + 时代 + 组构”填图，主要依据粒度等组构特征进行岩体解体和定年，初步确定了侏罗纪序列（160 百万年）和白垩纪（130 百万年）序列及其各自的单元。

火山岩填图：在华北地块北缘燕山—辽西火山岩带的太仆寺旗西部开展了半覆盖区（基岩出露面积约占 50%）火山岩填图试点，初步确认填图范围主要为由 2 个破火山构成的复合火山机构，识别出一套由黑曜质碎屑岩构成的蒸汽—岩浆爆发产物，它们广泛存在于复合火山机构的近周边，证明太仆寺复合破火山发

育早期有过蒸汽-岩浆爆发, 复合破火山经历过蒸汽-岩浆爆发和岩浆作用(包括岩浆溢流、爆发、侵入和侵入)的复杂过程。该填图试点为火山机构填图方法总结提供了依据。

复杂构造区填图: 开展1:5万狼山尔驼庙幅填图, 鉴别并填制大量的构造, 如三叠纪韧性剪切带、侏罗纪挤压构造、白垩纪拆离带、新生代早期逆冲系统、新生代中期大型左行走滑构造系统等, 找到华北板块与阿拉善地块可能的边界断裂, 修改大量早期填图地质体边界性质, 发现大面积新元古代和古生代枕状熔岩, 初步总结了构造填图方法。

新方法填图探索: 开展了秦岭花岗岩Nd、Hf同位素填图, 探索追踪深部及其成矿制约新途径。结果显示, 深部组成分带制约成矿分带。



冀北尚义陆相盆地地层填图试点



### 覆盖区地质填图试点形成 适合新要求的技术方法体系

在过去以基岩区为主的区域地质调查工作中，由于经济发展需求、填图技术方法、交通条件、自然环境等原因，特殊地质地貌区大部分没有部署开展1:5万区调填图，或者在已完成的各种比例尺的地质图上内容简单，难于满足现今我国经济社会发展和生态文明建设需求。2014年开始，在西部戈壁荒漠区和东北森林草原区为特点的浅覆盖区、东部平原区和内蒙河套盆地为特点的厚覆盖区、西天山高山峡谷区和西南岩溶区为代表的基岩裸露区及青藏

高原东北缘新构造—活动构造区开始实施填图试点工作。经过2年的努力，适合我国特殊地质地貌区区域地质调查的填图技术方法体系逐渐形成。

针对不同类型特殊地质地貌区特点，充分利用遥感技术、综合地表地质调查、浅层地震等不同物探和化探技术及浅层钻探和槽探揭露工程等不同的技术方法组合，开展地质填图。预计2016年底将初步形成厚覆盖区、浅覆盖区及高山峡谷区等区域的填图工作指南，进而展开示范填图工作，为全国特殊地质地貌区区域地质调查工作奠定技术基础。



戈壁荒漠浅覆盖区



森林浅覆盖区



南方厚风化层覆盖区



活动构造区



## 5 勘查技术

### ◆ 无人机航磁探测系统研制成功

无人机航磁系统选用国产无人机平台,按照航空磁测要求进行了磁测任务设备的加改装。经航磁试验飞行,测量资料质量达到航空磁测技术规范一级资料的标准,无人机控制距离150千米、续航时间8小时,具有夜航和起伏飞行能力,主要性能指标基本达到实用化要求。

根据无人机平台的任务载荷、结构布局、供电特点,采用数字化技术研制了小型化航空氦光泵磁力仪、数据收录和磁补偿一体机,具有集成度高、体积小、重量轻、低功耗,系统精度高、稳定性和可靠性好的特点。

通过对国内某型号无人机进行了低磁改造,有效抑制了飞机对磁测设备的各种电磁干扰,并对无人机的起落方式、结构和飞控性能进行改进。系统包括飞行平台、数据链和地面指挥控制站。无人机航磁探测系统完成集成和静态测试后,进行了飞机性能、飞机磁干扰场补偿、剖面重复线和面积性试飞等工作,磁补

偿精度和测量成果数据均优于《航空磁测技术规范》一级资料标准要求。飞机控制距离150千米、续航时间8小时,具有夜航和起伏飞行能力,主要性能指标基本达到实用化要求。同时,还开展了低空随地形飞行和阵风减缓技术的研究与试验。



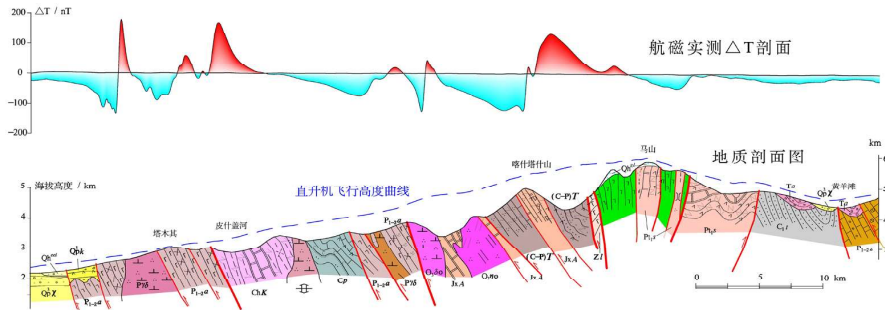
无人机平台与试飞

### ◆ 直升机硬架式航磁技术 在新疆高海拔区取得应用突破

测区内昆仑山峰高坡陡,最高海拔6596米。使用直升机硬架式航磁测量系统,获取了3.8万平方千米1:5万高精度磁测资料,其平均

飞行高度227米,新编异常700余处,发现多处镍、铁、铜矿化带(点)。

研究和完善了高海拔地区直升机硬架式航磁测量技术,推进其规模化生产应用。将装有磁测仪器的轻质探杆,用硬支架固定在AS350B3型直升机机腹下,集成为轻便的直升



实测航磁 $\Delta T$ 与地质综合剖面

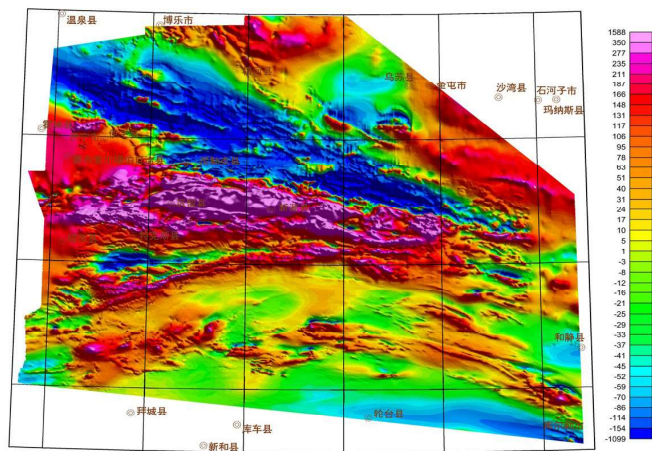
机硬架式航磁系统。借助野外临时机场和遥感地形影像，优化爬升和下滑方案，在险峻的高海拔昆仑山区完成了大面积低空航测，获取了丰富的磁异常信息。航磁异常地面查证发现镍

华矿化蚀变带。沿库牙克大断裂带发现多个孤立航磁异常。查证其中的新 C-2013-198 号异常时，在异常南东侧发现地表累计宽度约 50 ~ 80 米，延伸约 1.5 千米的镍华矿化蚀变带。

### ◆ 西天山航磁调查服务 阿吾拉勒地区铁矿找矿突破

西天山高精度航磁调查划分基底断裂 130 余条，圈定岩浆岩带 7 个，发现铁、铜矿（化）点 24 处，促进了新疆阿吾拉勒地区铁矿找矿突破。通过高精度航磁调查的实施，获取了西天山地区第 1 份覆盖较全的面积性高精度地球物理资料，为区域地质调查和矿产资源勘查提供了重要的基础数据。依据高精度航磁资料，在西天山圈定基底断裂 130 余条，提出尼勒克斯断裂带控制了阿吾拉勒铁矿带内众多大、中型铁矿的形成与分布；圈定了 7 个典型岩浆岩带，为寻找与岩浆岩活动有关的铁、铜等矿产提供了重要线索。在高精度航磁资料的指导下，

新发现铁矿（点）16 处，锰矿点 1 处，铁、铜矿化 7 处。同时，以航磁资料为线索，在查岗诺尔、智博冰川、备战等铁矿周边发现新的矿体，扩大了矿床规模。通过航磁资料综合研究，进一步提出了 158 处具有找矿潜力的航磁异常，为下一步找矿工作部署提供了依据。



西天山航磁阴影图





## 6 综合利用技术

### “浮团聚-磁选”新工艺 有效提高稀土矿回收率

针对德昌大陆槽稀土矿，开发成功新型稀土矿物高效浮选促进剂 COH 和“浮团聚-磁选”新工艺，实验室试验获得 REO 品位 62.46%、

回收率 66.96% 的稀土精矿，大大提高了稀土矿物回收率。在实验室研究成果的基础上，开展“浮团聚磁选”新工艺和新药剂的扩大连续试验研究，并获得 REO 品位为 61.67%、回收率 >60% 的稀土精矿。研发成功的新型高效浮选促进剂 COH，对细泥含量大、矿石嵌布复

杂的稀土矿具有优异浮选效果，大幅度提高了选矿技术指标，实现稀土矿选矿的常温浮选，打破了传统稀土选矿技术需加温、对泥矿效果不佳的技术瓶颈。开发成功适用于矿石品位低、结构复杂的难选稀土矿选矿的“浮团聚磁选”新工艺，实现细粒级稀土矿物的高效选矿回收，不仅提高了选矿技术指标，而且大幅降低了选矿成本和环境风险。



“浮团聚-磁选”新工艺工业试验现场



## 7 科学钻探

### ● 大口径同径长钻程超千米 连续取心和单回次进尺 创钻探世界纪录

突破科学钻探沿袭的“小径取心、大径扩孔”工程套路，在松科2井2826～4500米三开井段，创造 $\phi 311$ 毫米口径连续取心和单回次进

尺超30米2项钻探世界纪录。取心进尺累积达1241.04米，岩心直径达 $\phi 214$ 毫米，平均岩心采取率达98.67%。本次钻探为国内外首次实现大口径井段“同径取心、一径完钻”和“三筒联装长回次钻进”，大幅度提高了深部大口径井段的综合钻探效率、有效回避了扩孔作业风险，为松科2井三开井段压缩施工周期最少4个月，





节约钻探成本近千万元，对支持深部资源与环境研究、提升我国岩心钻探国际学术和技术地位、示范指导国内外深部钻探技术设计和工程实践产

生重大影响。形成具有自主知识产权的深部大口径岩心钻探技术体系，为我国深部地壳探测工程和超万米科学钻探储备了技术方法。



松科2井单回次进尺与岩心长度均超30米