人民日报海外版

2018年5月30日 星期三

责编：张保淑 邮箱：beijing2008@pople.cn

中国「深地望远镜」洞察白垩纪

本报记者 张保淑

「松科二井」全景

5月末，中国东北部黑龙江松辽盆地的黑土地上，“地壳一号”钻机历时4年多艰苦钻探，终于完成了松辽盆地资源与环境深部钻探工程（简称“松科二井”）最后环节。其钻探深度达到7018米，成为名副其实的亚洲最深大陆科学钻井，也是全球第一口陆上钻穿白垩纪（距今6500万年到1.45亿年）地层的科学钻井。

“松科二井”是中国实施“深地探测”战略的重要组成部分，不仅刷新了中国大陆科学钻探的深度纪录，而且钻探获得非常丰富的实物资料。围绕深钻进行的一系列技术创新，为中国科学钻探领域树立了新里程碑，标志着中国在“向地球深部进军”的道路上取得了新的重大突破。

①深探是揭秘地球的必然选择

中国地质调查局、中国地质科学院地球深部探测中心首席科学家董树文指出，越来越多的证据表明，地球表层看到的现象，根子在深部，不了解深部，就无法理解地球系统。越是大范围、长尺度，越是如此。深部物质与能量交换的过程，引起了地球表面的地貌变化、剥蚀和沉积作用，以及地震、滑坡等自然灾害，控制了化石能源或地热等自然资源的分布，是理解成山、成盆、成岩、成矿和成灾等过程成因的核心。因此，聚焦深部探测，揭开地球深部结构与物质组成的奥秘等，为解决能源矿产资源可持续供应、提升灾害预警能力提供深部数据基础，是地球科学发展的前沿之一。

上世纪70—80年代， 美国开辟了地球深部探测新技术和新方法体系，首次揭示了北美地壳精细结构，并为石油勘测和开采提供了有力指导，成为深部探测成功范例，引发了全球深探热潮。一些国际组织和苏联（俄罗斯）、加拿大等欧美国家实施了深地探测计划。2003年开始， 美国启动了新的地球深探计划，主要包括美国地震阵列、合成孔径干涉雷达等4个项目，再次成为深探领域的引领者。

在众多深探方法和手段中，“科学钻探”被认为是获取深部物质的最直接手段，被喻为在地球内部架设“望远镜”。苏联被认为是“科学钻探”的先驱和佼佼者，早在上世纪70年代，就成立了“地壳深部研究与超深井钻探部门间科学委员会”。该委员会牵头整合多部门力量，开展了众多陆地深探项目，其中位于科拉半岛邻近挪威的最深的一个钻孔深度超过1.2万米，至今，保持着世界最深钻井纪录。

②中国后发追赶成就非凡

与国外相比，中国的地球深部探测起步比较晚。当时，中国结合矿产资源勘探、地震预防等做了一些地球深部探测研究，不仅技术比较落后，而且效率也较低。比如，以人工在地下“放炮”来模拟“地震波”，通过追踪岩石圈和断层对“震波”的不同反射信号了解地下结构，由此获得反射地震剖面。2009年4月22日，第40个“世界地球日”当天，中国正式启动了“地球深部探测技术与实验研究专项”（简称“地球深部探测专项”），标志着中国地球深部探测的“入地”计划拉开序幕。中国地质界最精锐的科研机构和工程技术力量投入到该计划之中，完成了青藏高原、华南—中央造山带、华北和东北等4条超长深地震反射剖面，在中国东部长江中下游和南岭成矿带开展的矿集区立体探测也取得了丰硕成果。

董树文特别指出，中国在地震反射剖面方面取得的突破具有重大意义。他说，在地球深部探测专项启动前，我国深地震反射剖面总长仅约5000公里，相当于美国的1/12。而在专项启动后的5年中，通过采用适用于中国复杂地质地貌条件的深地震反射剖面采集技术，完成了6000公里“穿透地壳”的深地震反射剖面，使中国深地震反射剖面总长达到1.1万公里，由此步入全球深地震反射探测超万千米大国行列，使中国科学家对地球结构与组成的研究进入新阶段，在本国资源勘探、环境保护和防灾减灾方面具有重要的科学意义。

工欲善其事，必先利其器。地球深部探测的顺利实施和取得的成就离不开深探装备的进步。这些年来，中国在购置一批国际领先深探设备的同时，加大自主研制力度，在关键技术装备领域取得突破。实际上，正是鉴于装备研制特殊重要的意义，“地球深部探测专项”特别专列了“深部探测关键仪器装备研制与实验项目”，而该项目的负责人就是已故的吉林大学教授黄大年。他生前与同行密切合作，带领团队夙兴夜寐，孜孜不倦，研发出大功率、高效率、高精度和高性能的地震勘探系统、电磁勘探系统、无人机探测系统、超深钻探装备和深探软件平台等大型探测仪器装备，为中国地球深探事业可谓居功至伟。

③“松科二井”创下中国新深度

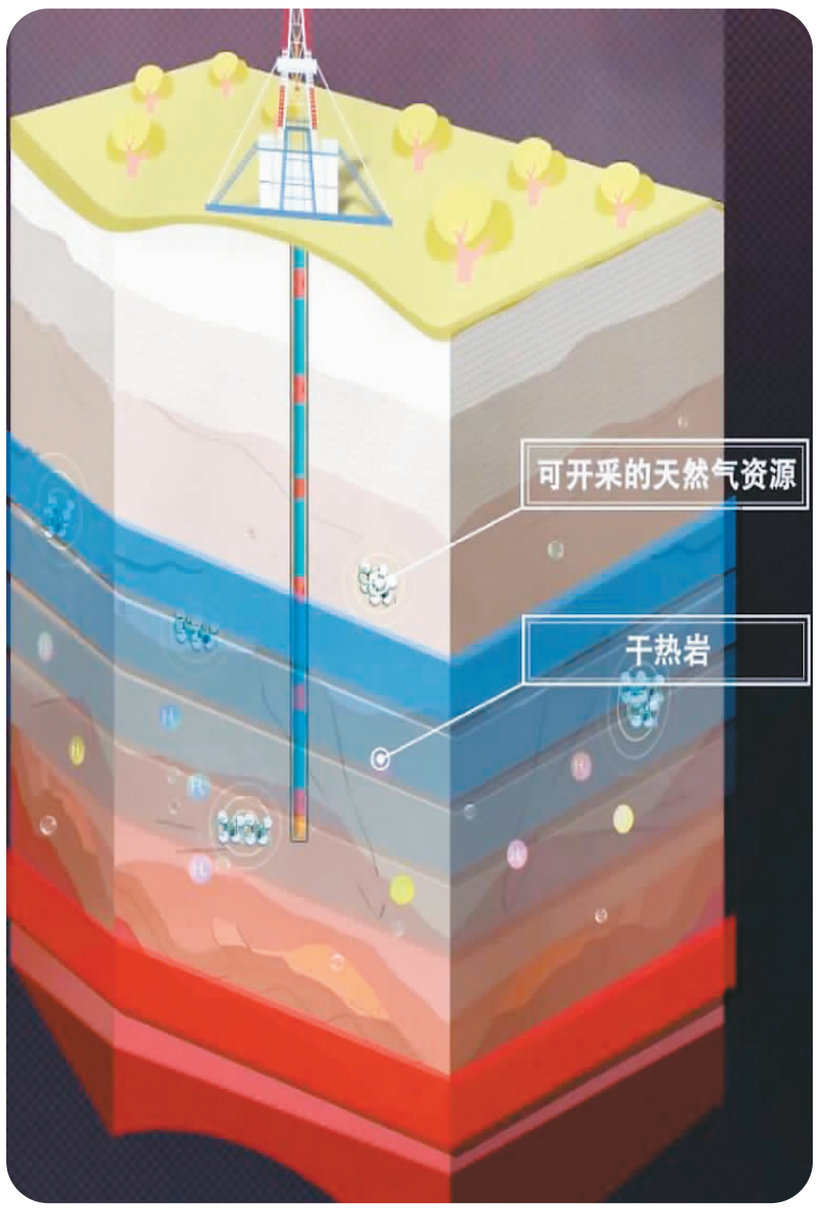
“地壳一号”万米大陆科学钻机是黄大年等呕心沥血的“超深钻探装备”之一。它高60米，总重量达1500多吨，占地1万多平方米，钻进能力达到1万米。其研制始于2009年，研制团队历时约4年，攻克了高转速全液压顶驱系统、高精度自动送钻系统和起下钻自动排管系统等一系列关键技术难题，采用国际先进水平的机电数字一体化设计，充分发挥先进的数控电传优势，简化机械结构，具备信息化、智能化特点，可最大限度地满足钻井新工艺的要求，提高钻井时效。它的研制成功使中国成为继俄罗斯、德国后，世界上第三个掌握地下万米钻探技术的国家。

2013年10月，“地壳一号”运抵黑龙江省安达市，在完成现场安装调试之后开始了的施工，其使命是开展松辽盆地白垩纪大陆科学钻探工程，进行连续高分辨率陆相沉积记录和温室气候变化研究。之所以把位于安达市的“松科二井”作为科学钻探的选址地，是因为其独特的科研价值。中国地质调查局副局长李金发表示，该地是当今世界最大的典型陆相沉积盆地之一，是中国最主要的含油气盆地，保存着白垩纪最完整最连续的陆相地层，是探索深部能源资源和寻求白垩纪陆相气候变化地质证据的绝佳位置。利用获得的岩芯，中国科学家们可以在国际上首次实现对白垩纪最完整最连续陆相地层厘米级高分辨率的精细刻画。因此，“松科二井”被列入中国地质调查局地质调查十大计划之中，也是受国际大陆科学钻探计划资助的科学钻探工程。

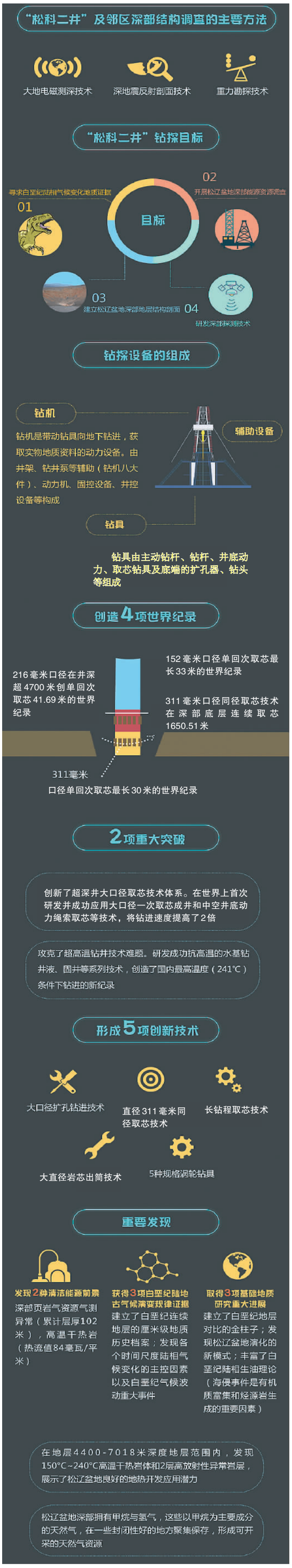
“地壳一号”果然没有让人失望，经过4年努力，“松科二井”完钻井深达7018米，圆满完成了既定的科研钻探目标，攻克了长程取芯、大口径取芯技术和超高温钻井等重大技术难题，创造了深部钻探技术等多项世界纪录。特别是通过取芯建立起中国地层对比的“金柱子”，创建了完整的松辽盆地陆相层标准剖面，为发展我国区域性和全球地层对比研究提供了重要的陆相“标尺”；同时，“松科二井”建立了松辽盆地演化新模式，揭示了松辽盆地深部地质构造特征，发现了古大洋板块俯冲、聚合的深部证据，构建了盆地早期基底双向汇聚、后期伸展反转的陆地盆地演化新机制，为松辽盆地成因再认识及深层油气勘探提供了理论指导。

取得上述成就的背后是艰苦的付出。4年来，“松科二井”科学团队克服了一个又一个世界级工程技术难题。比如，在取芯技术方面，为了提高效率，团队通过多次试验和技术的攻关后，最终在长钻程技术上实现了突破，把“松科二井”每次可连续的钻进深度从10米、20米扩展到30米，并在直径311毫米井段一次取芯钻进深度超过了30米，创造了该领域的世界纪录，随后又在直径216毫米井段一次连续取芯钻进深度达到41.69米，再次刷新了世界纪录。创新性地应用长钻程技术，不仅减小了工人的劳动强度，压缩了钻井施工周期，而且极大地节约了综合成本，更为以后的超深井工程开辟了新技术途径。

为了保证大直径岩芯出井后能够被完整地从岩芯筒中取出，“松科二井”的科学团队利用水力出岩芯技术与工程现场的液压拆装台架辅助的机械出芯技术，保证了近4100多米岩芯完整、原状出筒，为地学研究提供了一套优质丰富的岩芯实物资料。



根据“松科二井”深钻成果，初步绘制的松辽盆地深部能源资源地层分布示意图 本版图片来源：**中国地质调查局地学文献中心**

► “松科二井”完井仪式现场

“松科二井”小档案