

## G 科学向未来

编者按

地球深部探测能力是一个国家科技创新能力的重要体现。“向地球深部进军”被列入《“十三五”国家科技创新规划》。“松科二井”是自然资源部中国地质调查局践行“向地球深部进军”的具体行动,主要围绕松辽盆地深部能源资源调查、建立松辽盆地深部地层结构剖面、寻求白垩纪气候变化地质证据以及研发深部探测技术等四大科学目标展开。今年6月,松科二井的科学钻探工程以完井深度7018米的成绩,刷新了国际大陆科学钻探计划实施22年以来的新纪录。

## 打开地球深部通道

□ 曹龙龙 王稳石

46亿年前,地球诞生了,它内部有地核、地幔、地壳结构,外部有水圈、大气圈和磁场。它就像母亲的摇篮一样承载着人类的发展,其蕴藏的丰富资源也是人类赖以生存的物质基础。然而,地球有它自己的“怪脾气”,如地震、火山和泥石流等,这些“怪脾气”让人类损失巨大,也让人类望而生畏。

由于地球内部岩层、水层、温度、压力等千变万化,迄今为止,人类对地球内部仍知之甚少。科学家可以通过向地下钻进深孔获取地壳岩石实物资料,从地壳内部取芯钻探来打开探秘地球深部的通道。比如,2013年,松科二井重大地调科研项目启动,钻井的深度就超过7000米。

超过7000米的超深井在向下钻进的过程中,一要保证钻的井眼不能坍塌和崩裂,二要保证取出的深部岩芯完好无缺。要想达到这两个目标,不但需要有先进的钻进方法,而且必须有适合地下各种复杂多变地层的“挖石利器”——取芯钻探工具。

这种取芯钻探工具和匹配的钻头是向地下钻进并抓取岩石的保障,其工作过程为:钻头在最底部通过高速转动不断“咬碎”周围的岩石,把中间的柱状岩石样本送入取芯钻具里抓取,携带岩芯的内筒,而取芯钻具外筒源源不断地将钻进中需要的压力和转速传递给钻头,同时在转动过程中修整井壁,保护内筒。

传统的科学钻探中大直径井段是先取芯钻进一个小井眼,再用扩孔钻头重新钻进去扩大井眼至设计井眼直径。然而,在科学超深井钻探中面临的挑战是如何在大直径井眼中高效钻进,并且完整地抓取岩芯。松科二井在钻探过程中取得一系列技术创新,如大直径同径取芯、长钻程技术和大直径岩芯原状出筒技术等,是我国科学超深井钻探取得的新突破。

在超深井向下连续钻进过程中,既要让上部井眼完好且不断塌,也要让钻头“咬碎”的岩渣从井底顺利排出,还要保证高速转动的钻头不会因为发热而提前报废,这些都得依靠“泥浆”即钻井液来实现,它就像人的血液一样,在钻进过程中从地面到井眼最底部不停地循环、净化,传递水动力、冷却并润滑钻具,携带和悬浮岩屑,维护井眼周围井壁的稳定性。

超深井在钻到一定深度的时候会遇到各种困难,比如地球内部温度高、压力大等。科学家们已预想到了这些问题,如在大直径井眼取芯钻进中怎么能不把钻杆全部从孔里提出来就能把岩芯全部取上来;在高温地层、较硬的岩石中怎么能让钻头更高转速去“咬碎”岩石;怎么能在钻眼的时候把井眼底下的数据直接输送到地面。

“上天入地”揭开宇宙的神秘面纱,探索地心深处的奥秘,科学钻探路漫漫其修远兮,尽管现在只钻穿了地球的“皮毛”,但笔者相信,在地质学家不懈努力和探索下,通过将来实施万米科学钻探、超万米科学钻探,人类一定会打开探秘地球深部的通道。那时,人们距离地心会越来越远,并逐步揭开地球深部的秘密。

(曹龙龙系松科二井钻探技术团队的核心技术人员;王稳石系松科二井工程指挥部钻井工程室主任、高级工程师)

## 向地球深部进军 竖起新地标

□ 张金昌



松科二井工程技术人员在现场作业。

21世纪人类面临可持续发展的新考验,面临资源匮乏、环境变化及灾害频繁等巨大挑战。人类必须向地球深部进军,这已成为全球科学家的共识。20世纪90年代,德国、中国、美国的科学家共同发起“国际大陆科学钻探计划”。“松辽盆地大陆科学钻探工程”的松科二井作为“国际大陆科学钻探计划”的重要组成部分,是全球在陆地上实施的第一口陆相白垩纪科学钻探井。

2018年6月,松科二井入地

7018米,成为国际大陆科学钻探计划实施22年以来最深的深度,代表了中国“入地”的能力。这是中国积极投身地质领域科技创新,为全人类美好未来奋斗的一次壮举,也是自然资源部中国地质调查局围绕国家重大需求,以破解深部钻探技术和探索松辽盆地深部资源环境重大地质问题为目标,多部门协作、多专业多学科融合、产学研用结合的协同攻关机制的实践,成功经验值得好好总结。

## 解读地球深部埋藏的亿万演化记录,为预测未来全球气候变化提供科学依据

地球深部埋藏着亿万演化记录,能够帮助人类解决今天面临的重要生存发展问题。但由于固体岩石的阻隔,人类对地球内部直接观察困难重重。相较于上天、入海,人们对自己生活的地球内部所知甚少。

随着科学技术的发展,从20世纪60年代开始,地质学家才开始利用钻探技术向地球深处伸出“望远镜”。中国地质学家也清晰地认识到,大陆科学钻探工程的开展,对于进一步地了解地壳结构,掌握地球运动规律,丰富对生命科学、气候变化的认识,探索解决资源环境重大问题都具有重要意义。但当时,我国缺乏相关的技术,无法向地球深部进军。

直到二十一世纪,在中国地质大学(北京)教授王成善等中国地质科学家努力下,“松辽盆地大陆科学钻探”纳入国际大陆科学钻探计划,中国地质调查局启动了松科二井工程。

2014年8月,在中国地质调查局组织下,中国地质大学(北京)、吉林大学、中国地质大学(武汉)等多家单位的地球科学家和国际地科联、国际大陆科学钻探计划、国际地球深部探测计划等国际地学研究机构的负责人,美国科学基金会、日本地学会、韩国地学会的专家学者,齐聚松辽盆地,现场考察了松科二井工程实施进展情况。

当时,中国地质调查局局长钟自然提出了松科二井工程将主要实现的目标:一是研究距今6500万年至1.45亿年间白垩纪地球温室气候和环境变化,为预测未来全球气候变化提供科学依据;二是建立服务“百年大庆”目标和基础地质研究的

“金柱子”,为松辽盆地及其类似盆地的地球物理勘探提供科学“标尺”;三是攻克高温钻井、固井、测井和超长井段连续取芯等关键技术,为万米超深井科学钻探提供技术储备,促进我国深部勘查技术发展;四是搭建国际交流合作平台,为我国培养具有国际视野的地球科学专家和人才。

经过4年多的艰苦攻关和组织实施,松科二井终成为全球第一口钻穿白垩纪相地层的大陆科学钻探井,成为亚洲国家实施的最深大陆科学钻探井和国际大陆科学钻探计划成立22年来实施的最深钻井。



松科二井地址提取上来的岩芯。



松科二井钻井现场。

本文图片均由自然资源部中国地质调查局提供

## 科学钻探工程不是简单打一口钻井

科学钻探工程,表面上看是打一口井,实际上却是在考验一个国家的经济实力、基础工业实力,以及整个地质领域科技发展水平。

大陆科学钻探不同于普通石油钻探,大陆科学钻探的目的是进行各项科学研究。因此,松科二井不仅要“打到预定深度”,还要把这么长的地层岩芯完好地“拿上来”,然后在岩石中读取数据和开展科学研究,读取的数据越清晰规范,越有科学研究价值和指导意义。

换句话说,科学钻探的钻进深度和获取岩心都至关重要。而科学钻探过程中会遇到很多世界级难题,其中就包括地球的“三高”(高温、高压、高地应力)问题。在“三高”条件下,首先要确保钻机的配件和电子元件能正常工作;其次,在此条件下,尽一切可能避免井壁岩石破碎,造成井壁垮塌、卡钻等井下事故。在数千米深的地下,一次断裂,甚至

细微的角度偏差,都会造成工程返工,影响进度,增加巨量成本;更重要的是,历经千辛万苦取出的样品会因质量不达标而丧失研究价值。

具体在松科二井钻探工程中,一要保证岩芯的连续性完整性,二要克服松辽盆地复杂沉积岩地层以及地下高温对钻进的阻碍。同时,还要在保证安全和钻孔质量的前提下,提高钻进效率以提升经济效益。

最终,松科二井工程以高于96%的岩芯采取率获得了连续完整的6500米岩芯,成为大陆和海洋科学钻探计划最长岩心记录,它代表了我国钻探工程的技术已经成熟;以厘米级刻画,研究时间跨度超过6000年的白垩纪陆地温室气候变化,它代表了中国在深时古气候研究领域又向前迈进了一大步。

松科二井工程实施团队还创造了多项世界纪录,为松科二井三开段压缩施工时间至少4个

月,节约钻探成本超千万元。其中,针对取芯长度和工程进度无法兼顾的世界难题,在世界上第一次研发并成功应用大口径一次取芯成井等技术,将钻进速度提高了2倍,提高了取芯成功率;自主研发国产系列大口径取芯钻具。针对超高温无法施工问题,成功自主研发抗高温钻井液体系和固井技术,创造了国内最高温度(241℃)条件下钻进的新纪录。

松科二井工程中最大的技术亮点之一就是“大口径取芯井段同径取芯、一径完钻”。相对于此前国内外科学钻探沿用的“小径取芯、大径扩孔”作业,它取消了活动套管,下入与起拔程序,避免了扩孔作业的技术风险,节约了大量的钻探时间。为实现这一钻井方法,中国地质调查局勘探技术研究所攻克了大直径金刚石钻头的设计与加工,大直径岩芯的拔断与提钻过程中钻具对岩芯的承托等关键技术。

中国地质调查局深部探测中心牵头汇总,形成有国际影响力和实践指导意义的重大科研报告。自然资源部中国地质调查局将加快推进《地球深部探测重大项目》的申报,推动“地球深部探测与能源资源安全”国家实验室与“深部地下观测与实验”国家重大基础科学设施的建设工作,发挥科技创新关键作用。同时,借此成功实施松科二井工程,还将深化地球深部探测理论研究和成果转化,组织实施好松辽盆地页岩油(气)、深部油气、砂岩型铀矿、干热岩等清洁能源地质科技攻坚战,带动大庆油田接替资源的勘查开发;研发15000米国产超深钻探装备系列,做好我国超万米大陆科学钻探工程以及大型含油气盆地科学钻探工程的选址和实施工作。

(作者系自然资源部中国地质调查局勘探技术研究所所长、松科二井工程总指挥)

## G 科技随笔

## 停止开发明星

□ 许华磊

日前,据权威媒体报道,由于没有合适的商业应用场景,日本本田公司停止开发其明星产品阿西莫(ASIMO)人型机器人。

多年来,阿西莫作为日本人形机器人最高水平的代表产品,吸引了全世界机器人爱好者的目光。阿西莫的原型可以追溯到1986年,本田公司设计出了由双腿构成的原型机。一年后研发人员通过模仿人类步态,增加了类似人类的脚踝关节和胯关节的机械结构。

1993年,本田公司开始对阿西莫进行上半身功能的完善,通过加装摄像头和机械手臂来感知环境并实现与人类互动。随后,经过工艺改善和产品迭代,阿西莫的尺寸进一步减小优化,各种元器件设备更加精密且性能强劲。本田公司期待阿西莫在日本老龄化到来之际,广泛进入家庭陪伴照顾老年人。一时间,仿佛服务机器人马上就要走入人们的生活,科幻小说的场景即将实现。

然而在现实世界中,这个多年来一直在各类展览会上吸引了众多观众的明星机器人,最终并未走向大众的家庭。虽然本田公司表示阿西莫的技术将继续发挥作用,然而阿西莫项目的停止表明本田公司最终承认这款产品的失败。造成这种结果主要有三方面的原因:

成本问题。成本高昂无疑是制约阿西莫无商业落地的重要原因,有报道称一台阿西莫机器人造价在300万美元至400万美元,而用于展示的商用租赁服务费每月超过1万美元。昂贵的制造成本和使用费用,远远超出本田公司设计阿西莫用以照顾老人的初衷。

技术路线问题。步态机器人主要有电机控制和液压控制两大分支,本田公司为了提高产品成功率,在设计阿西莫之初选择了技术难度较低的电机控制方案,其主要执行机构由电机和精密减速器构成。在运动控制方面,这种设计相比液压控制方案有较为成熟的解决方案,处理器能够通过编码器准确获得运动状态的实时反馈,控制精度也有很大保障。这种电机控制方案的优点很明显,但弱点也非常致命,除了无法输出足够大的扭矩,电机维护控制和稳定姿态都需要消耗大量电能,即使最新优化设计结构的阿西莫充满电后也只能运动40分钟,难以满足人们的需求。

产业化一直是众多机器人企业的一大难题。要解决机器人的场景识别和机交互问题,涉及环境感知、场景识别、语义理解、任务分解、自主学习等一系列软硬件关键技术,尚未出现成熟的技术解决方案。在过去30年中,本田公司想把阿西莫定位为进入家庭的服务机器人,最终也失败了。

类似于阿西莫机器人这种前期投入巨大资金和研发力量重点打造的科技产品,最终却无法商业落地的例子屡见不鲜。本田公司2012年展示了他们设计的“UNI-CUB”电动座椅,想帮助高级白领在办公室中灵活快速地移动。这款新颖的产品与阿西莫犯了同样的错误,虽然外形美观且技术含量十足,但在市场定位上存在致命缺陷,在室内移动办公的场景少之又少,虽然与阿西莫一样人见人爱,但最终却无人买单。

在其他领域中,这样的例子也不少,比如日本倾力研究的氢燃料电池汽车,始终无法受市场欢迎。近年来,全球新一代信息技术逐渐兴起,催生量子通信、人工智能等颠覆性技术,但这些新技术如何降低成本,产业化落地,服务大众市场,需要政府、公司、科研人员共同努力认真思考。否则,不计成本地追逐新技术,最终也难免和阿西莫机器人一样,成为历史——这便是阿西莫停止开发带给我们的启示。

(作者系中国电子学会咨询中心博士)