科技日报
大国重器
庆祝中国共产党成立100周年特别策划
2021 1921
The 100th Anniversary of the Founding of The Communist Party of China

“地壳一号”钻机：将人类“视距”延伸至地下万米

◎本报记者 **杨 仑** 综合报道

7018米！

2018年6月2日，由我国自主研发的万米钻机“地壳一号”正式宣布完成“首秀”：以完钻井深7018米创亚洲国家大陆科学钻井新纪录，标志着中国成为继俄罗斯和德国之后，世界上第三个拥有实施万米大陆钻探计划专用装备和相关技术的国家，这让参与其中的科研人员激动不已。

为满足我国地球深部探测工程的重大需求，我国于2009年启动了“深部探测技术与实验研究专项”，其中第九项目“深部探测关键仪器装备研制与实验”由吉林大学教授、博士生导师黄大年担任负责人，该项目的第五课题“深部大陆科学钻探装备研制”由时任吉林大学副校长、教授孙友宏担任负责人，该课题的主要任务是研制“地壳一号”万米钻机。

2013年10月15日，50辆大型拖车装载着被分拆成零件的“地壳一号”从四川省广汉市出发前往东北；2014年4月13日零点，“地壳一号”万米钻机在位于松辽盆地的松科二井现场实施开钻作业；2018年，松科二井正式完井，超额完成预定目标，在理论、技术、工程、装备等方面均实现了重大突破，极大地提升了我国地球深部探测的能力和影响力。

进军 一场科技竞赛在地球内部展开

“上天、入地、下海、登极”是人类认识自然和挑战自然的四大壮举。以大陆科学钻探为主的“入地”工程是获取地下实物信息的唯一手段，其难度绝不亚于“上天”工程。

受困于地壳岩石阻隔，人类对地球内部知之甚少。若想对地球内部结构和物质成分进行探测，最直接、最有效和最可靠的方法是纵深向地球内部打一口科学钻探井，将人类的“视距”向地球内部延伸数千米甚至上万米，进而一探究竟。

通过科学钻探，在地质学方面，可以研究地球深部构造及演化、地球深部流体及其作用，校验地球物理探测结果；在资源能源开发利用方面，可以研究成矿理论、油气成因，调查和开发深部热能；在环境科学方面，可以研究地震成因、火山喷发机理、地质灾害预警、地球气候演变、生命演化历史。因此，科学钻探被形象地誉为了解地球内部信息的“望远镜”。

基于此，上世纪末一些先行者开始向地球深处“进军”。

大陆科学钻探工程开始于20世纪60年代初，苏联地质学家H.A.别里亚耶夫斯基等人根据深部地球物理资料提出，为获取整个地壳剖面，至少要在全球6个地区打超深井。

1970年，由苏联科学家主导的科拉超深钻孔工程启动，其中最深的一个钻孔SG-3超深孔1986年3月达到11300米。与此同时，其他国家也开始了在这方面的探索，例如美国的罗杰斯1号孔（9583米，1974年）和德国的KTB井（9101米，1994年）。

1996年，国际大陆科学钻探计划(ICDP)正式成立以来，更多国家开始参与制定并组织实施科学钻探，加入到国际大陆科学钻探计划中来。此时，各国争先恐后的重要原因，在于以深井油气钻探装备为依托的大陆科学钻探工程，在一定程度上反映了一个国家的经济实力和科技发展水平。这是一场科技竞赛，谁也轻易不敢掉队。

而在那时，我国最深的科学钻探孔为CCSD-1孔，深度仅为5158米。

攻关 见招拆招解决“三高”难题

超深孔钻探面临一系列的世界级难题，其中最难以攻克的，便是要在地球的高温、高压、高地应力“三高”条件下，确保钻具的配件和电子元件能正常工作、取芯工作能够顺利进行。

为解决“三高”难题，我国的科技工作者们进行了艰苦卓绝的科研攻关。

经过4年多的努力，吉林大学成功研发出了我国首台万米大陆科学钻探专用装备——“地壳一号”万米钻机，解决了我国深部钻探装备转盘回转速度低、设备自动化程度低和深部钻探钻头压力控制精度低的三大技术难题，突破了高转速全液压顶部驱动钻进、高精度自动化摆排管、高速度钻杆柱自动拧卸输送和高精度自动送钻四大深部钻探装备关键技术，形成了具有自主知识产权的高性能深部科学钻探装备和配套装置，填补了我国在深部大陆科学钻探装备领域空白，大大提高了我国超深井科学钻探装备的技术水平。

“此外，‘地壳一号’万米钻机还应用了一套由我们研发的自动化钻井装置，其主要包括自动摆排管装置、自动拧卸装置、自动‘猫道’装置以及我们国内钻深能力最大的一台全液压顶驱装置。”吉林大学机械学院教授沙永柏说。

地球内部的高温泥浆，被誉为钻井的“血液”。在钻井过程中，井钻得越深，泥浆温度越高，钻探技术难度越大。

在对国内外近30家泥浆材料供应商的产品进行遴选和配方试验后，中国地质大学（武汉）工程学院勘察与基础工程系教授乌效鸣研制出一种超高温水基钻井液配方，使钻井设备可经受住240摄氏度以上的高温考验，刷新我国钻井液应用的最高温度纪录，给工程节省大量资金，保障了钻孔安全。

夜幕下的“地壳一号”万米钻机整机系统 新华社记者 **许畅**摄

成就 相关成果服务“一带一路”

岩心作为地下岩石的剖面截取物，是人类了解地球深部唯一的实物资料。取出岩心后，地学家们通过技术手段对其进行分析研究，借此来了解地球的成因、研究古环境古气候的变化规律、研究地质构造运动、发现矿产资源和油气资源。

“高于96%的取心率，获得了连续完整的4014米岩心。”“地壳一号”工程项目取得的众多成果中，这一项被地质专家们津津乐道。

按照要求，从井中取出的圆柱形岩心，无论大小，其每间隔10厘米或20厘米要贴上唯一的“身份证”编码，包括钻孔名称、回次号、岩心段等信息。这些数据伴随岩心一起被存入国家实物地质资料库。借助“地壳一号”万米钻机获得的这些岩心，为我国科学家建立地球演化档案提供了难得的资料，也为大庆油田未来50年时发展和我国能源安全提供了重要的数据支撑。

松科二井工程首席科学家、中国科学院院士王成善说，松科二井完井是国际大陆科学钻探计划历程中一件大事，也是中国入地工程的一件标志性事件。实施这个工程最主要目的就是要探究距今6500万年至1亿4千万年期间，即白垩纪时期重大地质事件、烃源岩的生成与古环境古气候变化的奥秘。

据了解，目前“地壳一号”钻机的相关技术成果已经成功应用于我国低温钻机系列设备中，比如“极光”号极地钻机。

目前，“极光”号极地钻机已被应用在俄罗斯北极圈亚马尔高寒地区油气勘探作业中。亚马尔液化天然气项目是中俄能源合作的重大项目，是中国提出“一带一路”倡议后实施的首个海外特大型项目。

“极光”号极地钻机是应用于中俄亚马尔液化天然气项目的重要大型设备，该钻机可在零下50摄氏度低温和12级以上强风环境下连续工作。这也是我国制造的首台可以在零下55摄氏度环境作业的极地钻机。

“地壳一号”项目的技术成果还被广泛应用于深部油气钻机和海洋钻机钻井包中，应用其成果的相关设备出口到阿联酋、委内瑞拉、俄罗斯、美国等多个国家和地区。

相关行业专家表示，“地壳一号”万米钻机的研制及应用，标志着我国地学领域对地球深部探测的“入地”计划取得重大阶段性进展，为后续国家地壳探测工程的全面实施、探求地球深部奥秘提供了高技术手段，也将带动我国深部油气资源和地热资源勘探开发行业的技术进步。

“上天、入地、下海、登极”是人类认识自然和挑战自然的四大壮举。以大陆科学钻探为主的“入地”工程是获取地下实物信息的唯一手段，其难度绝不亚于“上天”工程。

受困于地壳岩石阻隔，人类对地球内部知之甚少。若想对地球内部结构和物质成分进行探测，最直接、最有效和最可靠的方法是向地球纵深打一口科学钻探井，将人类的“视距”向地球内部延伸数千米甚至上万米，进而一探究竟。

要想钻好井 科研人员先得过“声音关”

亲历者说

◎本报记者 **杨 仑** 综合报道

“地壳一号”万米钻机的成功研制、松科二井的顺利完井，这些成绩，离不开科研工作者们的辛勤付出。

“表面上看是打一口井，实际考验的是国家的经济和基础工业实力以及科技创新能力。”中国地质调查局副局长李金发说。

“钻井是一项高难度、高技术含量、高经验依赖性的工程。”松科二井工程指挥部钻井工程室主任王稳石说，如果将地球比喻成鸡蛋，目前人类对地球内部的探测，连鸡蛋壳都没有穿透。

“由于地层不稳定，往下钻时刻都有可能发生意外情况。”王稳石说，在现场的每一天都高度紧张，每向下一厘米大家都会感到莫大的快乐。“有时候一厘米一厘米往下，进尺慢的时候，一个小时不到50厘米。”

“投身于松科二井钻探现场，如同进入一个大家庭。”中国地质调查局勘探技术研究所技术骨干闫家，这个刚刚大学毕业就参与到松科二井工程的年轻工程师，参与了5种规格涡轮钻具的研制，是松科二井工程核心团队的一员。

闫家回忆道，松科二井开钻以来，只要钻机未停工，总工程师朱永宜就会在松科二井现场指挥部。“朱总已经63岁了，每天将近18个小时坐在指挥部，有他在，我们就有了主心骨。”闫家说。

野外作业需要高强度连续工作，没有固定的作息，只要钻机在运转，时时要绷紧神经。

“钻进中每个阶段结束之前是不能随意暂停的，中断后井内可能出现垮塌、卡钻等风险。”中国地质调查局勘探技术研究所工程技术人员曹龙龙每次去井场都需要连续工作两三个月。他主要负责取心钻具的研究与改进等工作。

“松科二井不少人都要先过‘声音关’。”曹龙龙说，在现场，钻塔的轰鸣声和钻杆起落的撞击声此起彼伏。

刚来作业现场时，很多人难以习惯“与噪音共处”。后来人们就都逐渐适应了，即便耳边声响不断，晚上也能睡得安稳。不过，也因此落下了毛病，只要这声音一停下来，大家就会忐忑不安，容易醒来。

有时候，曹龙龙清理堵塞的岩心管，长达几个小时的大锤震击之后，耳朵里咣咣的回声会持续大半天。“这些宝贝很娇气，很容易碎裂，要精心照顾。”曹龙龙说。

“松科二井的成功，缘于它是一次有着明确部署和指导，依靠科技管理体制机制创新，科技、工程、服务人员拧成一股绳、通力合作的大会战。”中国地质调查局勘探技术研究所所长、工程总指挥张金昌说。

中国地质调查局以下属勘探技术研究所、中国地质科学院地球深部探测中心为主体，联合中国地质大学（北京）、吉林大学、大庆油田等多家单位，集结地质行业600余名科技人员，团结协作，共同破解工程施工、技术研发和理论研究中遇到的难题，成就了这一伟大的科学工程。

不断向地球更深处进发

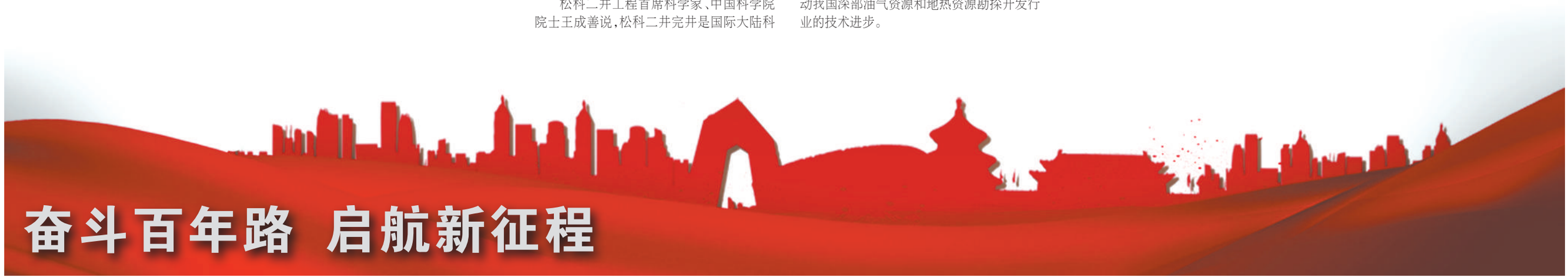
大事记

2009年4月22日
国家专项“深部探测技术与实验研究”启动

2013年
我国首台万米大陆科学钻探钻机“地壳一号”在黑龙江安装完成

2014年4月
松科二井工程启动

2015年5月
直径311毫米大口径取心钻具成功应用于松科二井

2016年6月
松科二井成为亚洲国家实施的最深大陆科学钻探井

2018年6月2日
“地壳一号”以完钻井深7018米创亚洲国家大陆科学钻井新纪录