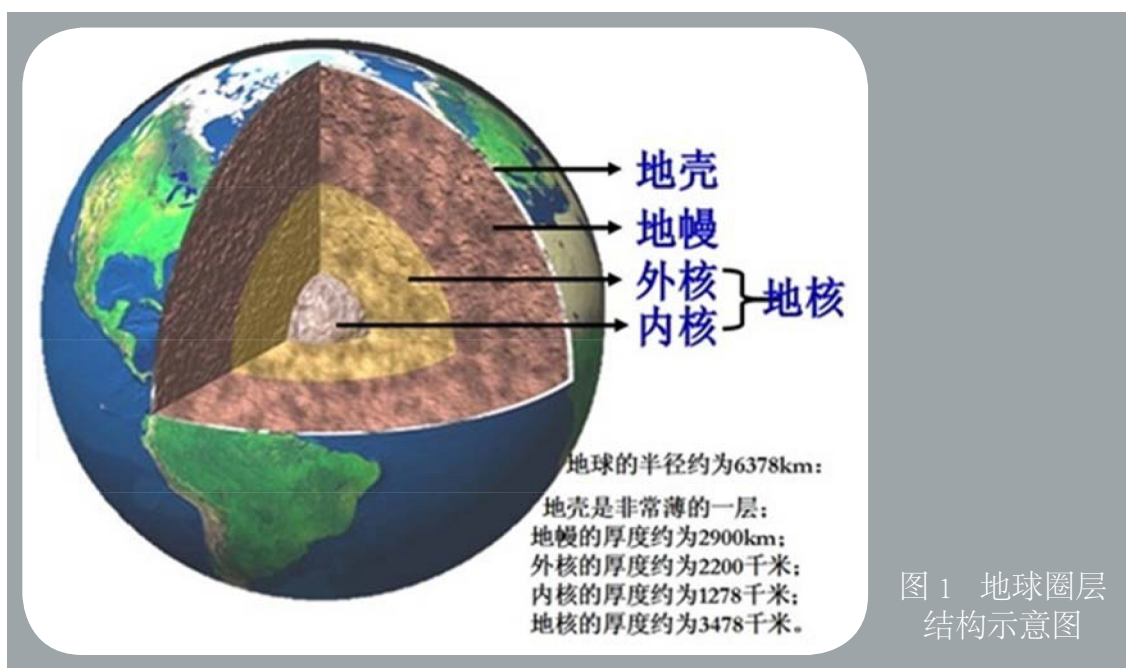


## “挖石探秘”——打开探索地球深部的通道

46 亿年前，地球诞生了，它内部有地核、地幔、地壳结构（图 1），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数千年的发展，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”让我们人类损失巨大，也让我们人类望而生畏。从人类诞生之初到今天的科学家们都在尝试各种方法找到解决这些“怪脾气”的方法，从地球表面到地球深部都在做各种探索和测量工作，特别是对地球内部的探索从来没有停止过，意图解开其中的奥秘。但是由于地球内部岩层、水层、温度、压力等的千变万化，迄今为止，我们人类对地球内部的了解仍知之甚少。2013 年，我们国家实施了“松科 2 井”重大地调科研项目，通过向地下钻进深孔获取地壳岩石实物资料，从地壳内部“挖石”来打开探秘地球深部的通道。



本篇从取芯钻探工具、取芯技术创新、取芯“泥浆”以及取芯技术探索等四方面论述“松科 2 井”如何打开地球深部的秘密。

### 一、“挖石利器”——取芯钻探工具

地球内部是一个极不均匀和极复杂的球体，从地壳到地核的岩层、水层、温度、压力等千差万别，想要在它上面钻眼“挖石”并非易事。而对于超过 7000 米的超深井——“松科 2 井”来说，难度更大。这是因为“松科 2 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（图2）。“松科2井”在钻进过程中，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的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。



图2 KT系列大口径取芯钻具图

## 二、“独辟蹊径”——取芯技术创新

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2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，都为我们国家科学超深井钻探取得了技术上的突破。

(1) 大直径同径取芯技术。“松科2井”攻克了大直径取芯钻头破碎岩石和粗大岩芯抓取、携带出井等关键技术，并用国内首创的 $\Phi 311\text{mm}$ 的大直径同径取芯钻探工具直接钻进一个大井眼（图3），一次钻进至设计井眼直径，这样不但省去了传统的“小径取心，大径扩孔”过程中的很多工序，避免了“小井眼到大井眼”钻进中的很多风险，而且节约了大量生产物资，获取的岩芯样品实物量也比设计的多了5倍。





图3  $\Phi 311\text{mm}$  大直径取心  
钻具组装与出井

(2) 长钻程技术。“松科2井”在钻进过程中每次取芯钻具装满岩心后需要把井中所有钻具提出，岩芯被取出后再把所有钻具下到井里继续钻进。科学家们通过多次试验和技术攻关，实现了长钻程技术的突破，把每次可连续钻进深度（钻程）从10m、20m扩展到30m。在 $\Phi 311\text{mm}$ 井段一次取芯钻进深度（钻程）超过了30m，创造了该领域的世界纪录；而在 $\Phi 216\text{mm}$ 井段一次连续取芯钻进深度（钻程）更是达到了41.69m，再次刷新了世界纪录（图4）。“松科2井”科学团队所研发的这种长钻程技术大大减少了从井内提出钻杆、下入钻杆的次数，尤其是在井深超过7000m的时候，从井内提出钻杆、下入钻杆一次需要工人36个小时的长时间连续的操作，实用价值巨大。因此，长钻程技术的应用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支撑。



图4 四筒超长取心钻具与单次钻进获取的40m岩芯





(3) 大直径岩芯原状出筒技术。为了保证大直径岩芯出井后能够完整、原状从岩芯筒取出，“松科2井”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，为地质研究提供了一套优质、丰富的岩芯实物资料（图5）。



图5 获取的大直径岩芯实物

### 三、“钻井血液”——取芯钻进中的“泥浆”

“松科2井”完钻井深达7018m，在超深井向下连续钻进过程中，既要防止上部井眼完好且不坍塌，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，在钻眼过程中从地面到井眼最底部不停的循环、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。而且钻井越深，温度越高，钻井液技术难度越大。“松科2井”每往下钻进100米，温度升高3~4℃，钻到孔底的时候温度已超过240℃，科学家们通过反复的研究和实验，研发出的新型钻井液配方经受住了井底240℃以上温度的考验，刷新了我国应用最高温度记录（图6）。

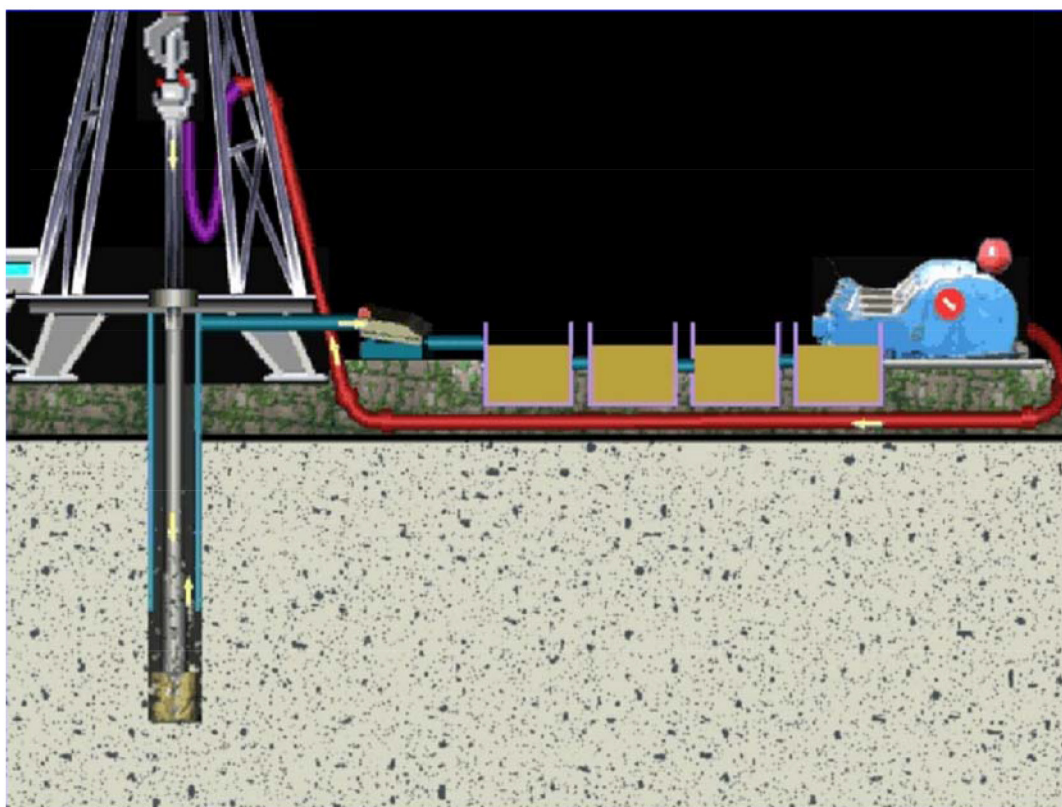


图 6 钻进过程中泥浆循环流动示意图（黄色箭头表示泥浆流向）

#### 四、“寻找新大陆”——取芯技术探索



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、岩石硬度大、钻眼速度慢等，要想继续向更深的地球内部探索，就必须克服重重困难。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可以把岩芯全部取上来；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；怎么能在钻眼同时把井眼底下的各种数据直接输送到地面。“松科 2 井”在实施过程中，科学家们已对大口径绳索取芯、涡轮钻取芯、井底随钻数据采集与传输等技术做了大量的可行性试验，得到的技术和数据，为今后的万米超深井科学钻探储备了技术力量（图 7）。

“上天入地”揭开宇宙的神秘面纱，探索地心深处的奥秘，科学钻探之路漫漫，其修远兮，尽管现在我们只钻穿了地球的“皮毛”，但我们相信在科学家们不懈的努力和探索下，通过将来实施的万米科学钻探、超万米科学钻探定会打开探秘地球深部的通道，那时我们距离地心会越来越近。





图7 “松科2井”巍峨挺拔的钻塔

供稿：中国地质调查局勘探技术所 曹龙龙 王稳石

