

地质钻探： 开启地心大门的神奇钥匙

□ 文图 / 刘 蓓

作者简介 刘蓓，高级工程师，主要从事钻探工程技术研究和管理工作。

在冰天雪地的南极，科学家通过地质钻探获取冰心，这些冰心就如同珍贵的时间胶囊，封存着远古时代的大气样本，为我们讲述着气候变化的漫长故事；在黑暗幽深的海底，科学家借助地质钻探取样，发现了不依赖阳光的生态系统，这些“生命绿洲”的存在，彻底颠覆了人类对生命极限的认知。地质钻探就像一把神奇的钥匙，正在慢慢为我们打开地心的大门，让我们通过了解地球内部的构造和演化规律，得以更精准地预测地震、火山等自然灾害，还能更好地开发利用能源资源，为人类的可持续发展筑牢根基。

地质钻探是什么

地质钻探，简单来说，就是利用专门的钻探设备，从地表向

地下钻进，获取地下岩石、土壤、矿物等样本的技术手段。它就像一位勇敢无畏的探险家，深入地球内部，为我们揭开地球的内部构造、物质组成，以及演化历史的神秘面纱。

常见的钻探设备是钻机，它种类繁多，按照钻进方式划分，有回转钻机、冲击钻机和回转冲击钻机 3 种。回转钻机工作时，仿佛拿着电钻打孔，通过回转装置带动钻杆和钻头旋转，利用钻头的旋转切削或磨削来破碎岩土；冲击钻机则如同拿着大锤子砸东西，借助动力传动系统让钻头产生周期性、高频的冲击力，以此破碎岩土；回转冲击钻机综合前两者特点，兼具旋转切削和冲击破碎的能力。



a. 黄铁矿

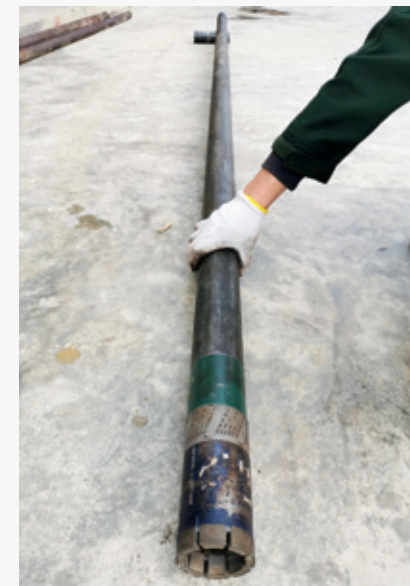


b. 钾盐矿

> 钻探获取的地下岩（矿）石样本

若是根据动力传动方式划分，又有机械传动钻机、全液压钻机和变频直驱钻机 3 种。机械传动钻机靠齿轮、皮带等机械部件传递动力；全液压钻机则是利用液体来传递能量；变频直驱钻机更先进，电机直接驱动钻杆和钻头，省去了中间的传动环节。不同类型的钻机适用于不同钻探目的、地质条件和钻进深度，在实际作业时，地质工作者会根据具体情况精心挑选。

在钻探过程中，钻杆不断向地下延伸，钻头持续切削岩石和土壤。为了防止钻孔坍塌，保持孔壁稳定，通常会往钻孔中注入泥浆，或者采用其他支护措施。当钻头到达预定深度，就可以通过钻杆或专用取心工具，将地下的岩（矿）心、土



> 钻探取心工具和取出的岩（矿）心

壤样本提取到地面，供地质人员分析和研究。

地质钻探的重要性

地质钻探在科学研究和人类社会发展中占据着举足轻重的地

位，是我们认识地球、探寻资源、开展建设的关键手段。

矿产资源勘探“尖兵”

在矿产资源勘探领域，地质钻探发挥着不可替代的作用。通过钻探获取的地下矿石样本，能帮助我们确定矿产的储量、品位和分布情况，为矿产资源开发利用提供关键依据。以石油和天然气勘探为例，地质钻探就像精准的“导航仪”，帮助确定地下油气藏的位置和规模。对钻探样本进行分析，还能了解油气藏的地质特征和储层性质，为油气开采提供技术支持。

2025 年，深地塔科 1 井通过钻探钻至地下 10 910 米，成为亚洲第一、世界第二垂直深度井，在 10 851 ~ 10 910 米井段



> 机械传动钻机



> 全液压钻机



> 油气钻探（图片来源：人民日报）

发现油气显示，这是全球陆上首次于万米以下深度探测到油气资源，为深层油气勘探开辟了全新领域。2024 年，曼苏拉马萨拉金矿南部实施了两个地质钻探孔，在地面 400 米以下位置采集的样本显示，每吨样本含金量分别达到了 10.4 克和 20.6 克，预计整个金矿带长达 125 千米，此次勘探发现的金矿属于世界级金矿。

地质科学研究“利器”

地质钻探是地质科学研究的重要“武器”。通过分析不同深度的地层样本，可以了解地球内部构造、岩石圈演化历史，以及地质灾害形成机制，等等。例如，研究钻探获取的湖泊沉积物样本，能揭开地球古气候与生态演化的神秘面纱。2024 年，纳木措国际大陆科学钻探计划在青藏高原腹地纳木措展开，钻取 7 个钻孔，在湖底提取了 951.12

米长的岩心。其中，第 7 个孔的钻探深度达到 510.2 米，刷新了我国湖泊钻探的最深纪录，为研究青藏高原过去百万年以来气候环境的变化提供了全新的科学证据。同年，中国第 40 次南极科考，通过地质钻探钻穿了 545 米厚的冰层及冰岩夹层，获取了连续冰

心样品和 0.48 米的基岩样品，成功钻取东南拉斯曼丘陵地区冰下基岩样品，这是我国乃至国际极地钻探技术领域的一次重大突破，钻取的冰下基岩样品对南极冰川运动、冰下地质环境、冰下地质构造及地质活动的研究提供了关键依据。

工程建设“参谋”

在工程建设中，地质钻探可以以为建筑物、桥梁、隧道等基础设施的设计与施工提供重要的地质信息。通过钻探，我们能清楚地了解地下的地质条件，比如土层性质、岩石强度、地下水分布等，从而为工程设计与施工提供科学依据。在高速公路和铁路建设中，地质钻探能帮助确定线路的最佳走向和隧道的合适位置。



> 纳木措湖泊科学钻探（图片来源：新华社）

2019—2020 年，川藏铁路某隧道勘察项目面临巨大挑战，工程处于川西高原，该地区生态脆弱、交通不便、地形切割强烈、地质构造复杂，常规的竖向钻探无法实施，采集的地质信息也不全面，难以满足深埋隧道工程地质勘察要求。经过论证，采用超长水平定向钻探技术能够克服地形障碍，满足了工程勘察和生态环保的双重要求，通过水平钻探完成了 903.28 米的超长水平取心钻孔，直接查明了隧道洞身的岩层完整性、地质构造及水文地质条件，还掌握了隧道挖掘路线上潜在的地质灾害隐患点，为铁路建设工程设计提供了可靠的原始数据和实物资料。

地质钻探技术面临的挑战

虽然地质钻探在多个领域贡献巨大，而随着钻探深度的增加和地质条件的日益复杂，这项技术也面临着诸多难题。

钻探深度的挑战

随着钻探深度不断加大，技术难题接踵而至。深部地层岩石的硬度和强度大幅增加，钻进难度直线上升。同时，深部地层的高温高压环境，对钻探工具和钻孔安全构成了严重威胁。目前，人类已经能够钻探到地表以下数千米甚至万米以上，全球陆地最深科学钻井 SG—3 钻井，



> 中国第 40 次南极科学考察钻探获取的冰心样品（图片来源：央视新闻）

深度达 12 262 米，最深油气钻井 Sakhalin—1 钻井，深度达到 15 000 米。然而地球地壳的平均厚度约 17 000 米，把地球比作鸡蛋的话，地壳就像蛋壳，现在最深钻井还没有完全穿透“蛋壳”。因此，想要进一步深入探索地球内部，还有许多钻探技术难题亟待攻克。

复杂地质条件的考验

不同地区的地质条件千差万别，有些地区的地质构造复杂，岩石破碎，断层众多，还存在高温高压环境，给地质钻探带来了很大的困难。在复杂地质条件下，钻孔内的钻探仪器设备易出现故障，钻孔也很容易坍塌，获取地质样本更难上加难。因此，在钻探前必须详细搜集和分析工作区的地质条件，谨慎选择合适的钻探仪器设备和技术。

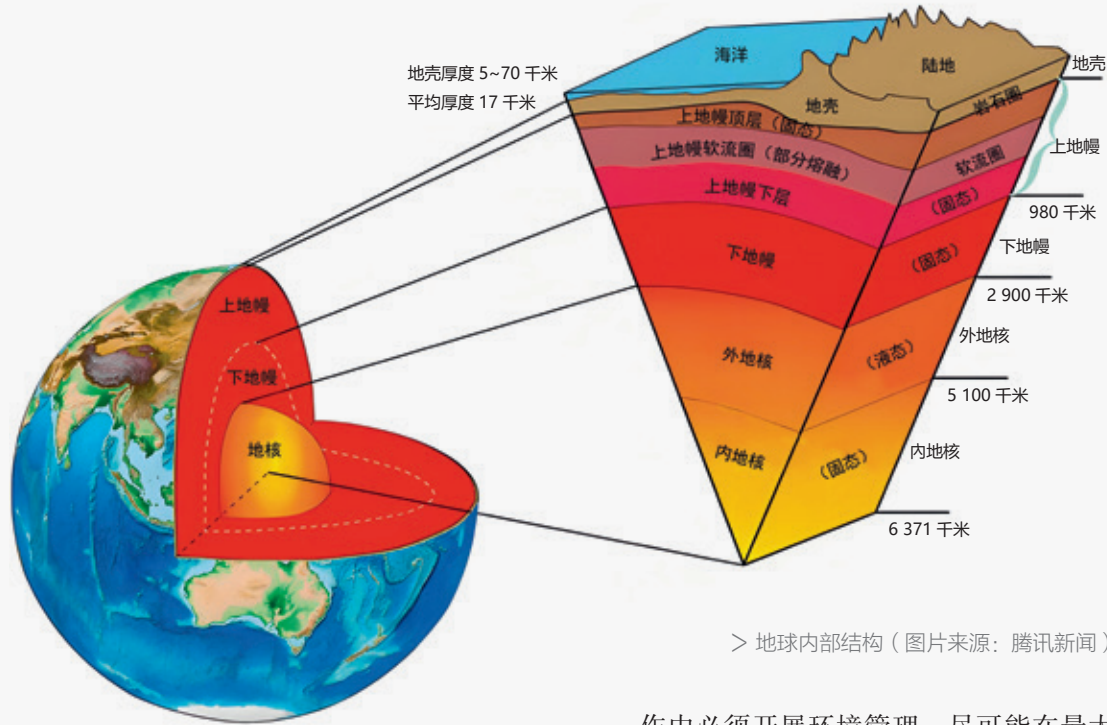
绿色勘探的要求

地质钻探过程中会扰动周围自然生态环境，产生大量的废弃物和污染物，如泥浆、岩屑、废水，等等。如果这些废弃物得不到妥善处理，就会污染环境。因此，在地质钻探过程中，要因地制宜采用绿色勘查新装备、新工艺和新方法，实施有效的环境保护措施，钻探结束后对场地进行复垦复绿，最大程度降低对生态环境的影响。

地质钻探技术未来的发展方向

智能化钻探技术引领潮流

如今，国内外自动化、智能化钻井技术发展迅猛，在钻机设备、井下工具、控制系统和通信系统等方面都取得了显著进展。不过，我国在这方面起步较晚，



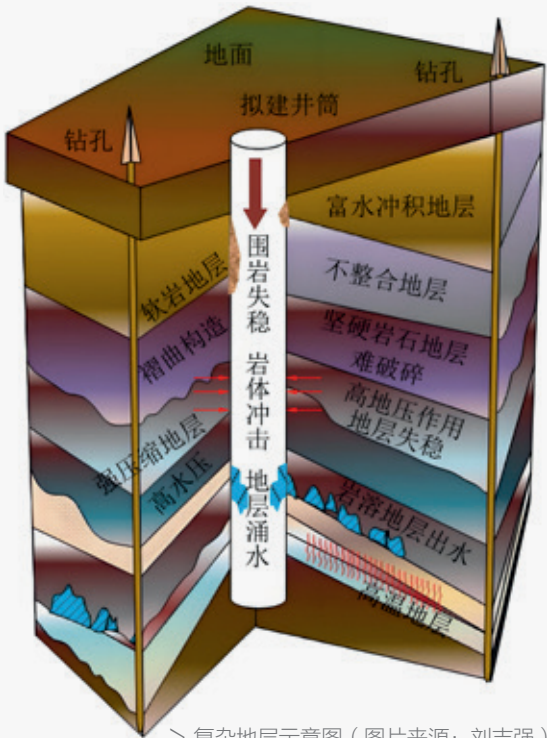
> 地球内部结构（图片来源：腾讯新闻）

与发达国家还有一定差距。21 世纪以来，欧美等国家陆续完成了对钻机的自动化和智能化升级。升级后的钻机配备了先进的自动换杆系统、可视化钻孔规划和自动定位功能，还能远程监控，实时数据传输。有的钻机甚至配备了钻探机器人系统，包括钻井平台机器人、升降机机器人、钻杆装卸系统及机器人钻工等，实现钻探全过程自动化。国外一些公司研制的智能钻杆和智能钻头也已实现商业化应用，这些智能钻杆和智能钻头极大地推动了随钻测量、随钻测井、地质导向等技术的发展。随着科技的不断进步，智能化钻探技术将成为未来地质钻探的主流发展方向。智能化钻探设备能实现自动化操作、远程监控和故障诊断。在进行危险环境下钻探作业时，能够大幅提高安全性。钻机还能根据岩石的硬度和强度自动调整钻进参数，显著提升钻探效率、精度和质量。

绿色钻探技术备受青睐

绿色勘查在国外起步较早，已经得到广泛应用和实践。加拿大、美国、澳大利亚等国家在立法层面，对勘查活动全过程的环保提出了强制性要求，勘查工

作中必须开展环境管理，尽可能在最大程度上减少勘查活动对环境的不利影响，像钻探、槽探这类对地表环境扰动较大的活动还需要获取环境许可证。国内的绿色勘查工作虽然起步较晚，但发展迅速，在技术、实践和法

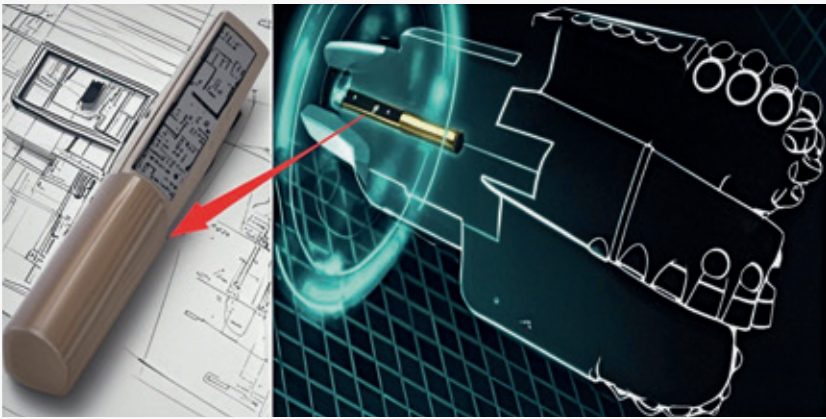


> 复杂地层示意图（图片来源：刘志强）

规标准等方面都取得了不少成果。绿色钻探技术涵盖先进的钻探工艺、环保型泥浆、废弃物处理、节能减排等技术，能有效减少钻探过程中的环境污染和能源消耗。例如，“以钻代槽”技术用地质钻探取代地质槽探工作，可大幅减少对地表的挖损破坏；“一基多孔”和“一孔多支”钻探技术，即在一个场地进行多个方向的钻孔施工，或者在一个钻孔内采用定向技术分支钻进，能减少钻探转场次数，降低工程修筑场地和运输道路的面积，有效控制钻探活动对原始地形地貌和地表植被的扰动范围。绿色勘查是矿产资源勘查工作坚定不移贯彻习近平生态文明思想的具体实践，对促进国内地质勘查工作持续健康高质量发展意义重大，绿色钻探技术也将会在行业内得到更广泛的应用。

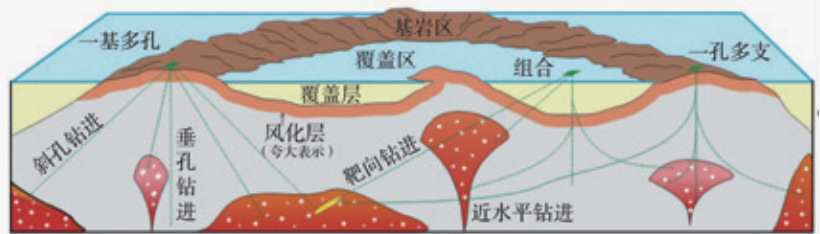
深部钻探技术成为重点

目前，全球陆地最深科学钻孔深度为 12 262 米，最深油气钻井深度达到 15 000 米，最深的金矿勘探取心钻孔深度为 5 422 米，中国岩金勘查第一深的钻孔在山东莱州西岭金矿区，深度为 4 006.17 米，而且世界上最深的科学钻孔和取心钻孔的深度记录都是采用铝合金钻杆创造的。随着人类不断深入探索地球内部奥



> 智能钻头（图片来源：张鑫鑫）

秘，深部钻探技术将成为未来地质钻探的重点发展方向。深部钻探技术需要克服地层高温高压等技术难题。比如采用新型钻杆、钻头材料和先进钻进技术可以提高钻井深度，研发耐高温高压的泥浆材料、钻井仪器和钻具，确保它们在深部地层长时间稳定工作。



> “一基多孔”和“一孔多支”钻探技术（图片来源：渠洪杰）

地质钻探为我们逐步揭开了地球内部的神秘面纱，为矿产资源勘探、地质科学研究和工程建设提供了重要的技术支撑。随着科技进步，地质钻探技术将不断助力人类探索地球深处，为资源开发和环境保护创造更多条件。

本文由中国地质调查局“秦岭地区金银矿产资源勘查（编号：DD20208008）”和“西部地区战略性矿产靶区查证技术支撑（编号：DD20243311）”项目联合资助。

作者单位 / 中国地质调查局西安矿产资源调查中心

（本文编辑：何陈临秋）