钻掘工程国内外发展水平与差距及建议(下)*

左汝强

(国土资源部 咨询研究中心,北京 100035)

(续上期)

4 大陆科学钻探

4.1 国际发展现状

4.1.1 SG-3 和 KTB 超深孔取得重大技术成就

至今世界范围内完成科学钻探深孔已有 10 余口,其中取得重大科学成就和技术创新的是前苏联完成的 SG-3 和德国的 KTB 超深孔。

SG-3 超深孔终孔深度达 12261 m,为迄今为止世界上最深的钻孔。该钻孔采用 Uralmash15000 巨型钻机,其转盘功率为 368 kW,卷扬机功率 2300 kW,具有钻深 15000 m 的能力。SG-3 孔还应用了涡轮钻具和轻型铝合金钻杆等先进工具。该超深孔于 20 世纪 80 年代末完成,是人类"入地"的创举。

KTB 计划于 1994 年完成钻深 9101 m 的超深孔,是列为世界第 2 位的深孔。该钻孔的施工也取得许多重大技术成就,如成功地采用将顶部驱动系统和绳索取心钻进装置安装于石油转盘钻机上的组合钻探技术,钻机上配备了先进的钻井仪表系统,研究和开发了 VSD 自动垂钻系统,基本上实现了钻探作业的机械化和初步自动化,等等。KTB 超深孔的实施为今后各国开展深部科学钻探提供了许多先进技术运用的典范。

4.1.2 国际大陆科学钻探计划(ICDP)开展简况

国际大陆科学钻探计划组织(ICDP)于 1996 年成立,多年来,其在组织推动和资助各国开展大陆科学钻探项目方面发挥了重要作用,取得很大进展。我国和德国、美国为 ICDP 的三大发起国,其它成员还有日本、墨西哥、波兰等国家。

1996~2000 年,ICDP 共接受了 72 项来自不同国家和地区的立项建议书。按其研究领域分布如下:(1)气候、湖泊、盆地和被动大陆边缘领域占 44%;(2)地壳动力学、演化和地震占 27%;(3)火山和热机制占 14%;(4)小行星撞击事件占 5%;(5)技术装备(全球湖泊钻探系统 GLAD800 型钻探船、小口径测井仪器等)占 10%。

在申报的 72 项立项建议书中,通过审查,ICDP 批准资助的项目有 16 项。

4.1.3 ICDP 资助项目的进展和动态

(1)以研究古气候为主要目的的湖泊科学钻探取得进展并作重点安排。

近十几年,贝加尔湖分 5 个阶段完成的科学钻探取得较完整的沉积记录,并且第一次在湖面上完成超过 1000 m 水深的钻探,首次在淡水湖泊对天然气水合物取样成功。

由 ICDP 资助,"地球大陆地壳钻探、观测和取样团体"(DOSECC)研制的全球湖泊钻探系统 GLAD800 型钻探船于 2000 年夏组装下水。该钻探船可用于水深 800 m,从湖底以下 200 m 深以内钻探取样。

从 2001 年起,GLAD800 型钻探船先后用于南美洲水深 280 m 的的喀喀湖科学钻探(研究过去 50 万年热带气候变化)和非洲最大水深 700 m 的马拉维湖科学钻探(获取过去 80 万年大陆热带连续和高分辨率的气候记录)。

(2)德国 KTB 超深孔(9101 m)垂直地震剖面(VSP)测量完成。

(3)希腊克里特岛俯冲带科学钻探项目正在布置中。该项目主要研究海伦俯冲带运动形式和构造机理,计划安排岛上和近海联合钻探。大洋钻探计划(ODP)将提供部分资助。

(4)美国加州圣安德列斯断裂科学钻探项目正在进行中。计划钻一个 4000 m 深的孔,下部定向钻探,穿越垂直断裂。该项目开展地震研究和孔底长期观测。此项目与美国"全球观测系统"(Earthscope)计划有联系,为其 SAFOD(圣安德列斯断裂深部观测站)组成部分。

(5)美国加州长谷破火山取心钻探和地下观测项目,钻探取样主要研究破火山再生隆起。从 2000 年起利用已钻孔安置仪器作长期观测站使用。

(6)日本云仙火山揭示喷发机理和岩浆活动科学钻探项目分 2 个阶段实施。第一阶段分别钻孔深

* 本文收稿后,笔者又根据最新的资料,对部分内容进行了补充修改。

万方数据

750 m 和 1200 m 两个孔，获取资料重建火山过去 10 万年内喷发历史。第 2 阶段从 2002 年开始，计划钻探火山喷发导管。该钻探任务面临的挑战是钻穿高温喷发导管难度极大，且需采用高级定向钻进技术。

(7)美国夏威夷火山科学钻探项目已完成阶段性任务。夏威夷岛上的火山每年要喷出巨量岩浆，科学家认为地幔热柱是造成火山作用的原因。开展科学钻探主要解决地幔热柱产生、岩浆上升及研究地下水的问题。该项目设计主孔孔深 4500 m，从 1999 年开始分 2 阶段 6 年内完成。现已完成第一阶段，钻孔深至 3109 m。

所用钻机为 DOSECC 专门研制的组合式取心钻进系统，采用液压顶部驱动装置，给进行程 7.6 m。复合式钻杆柱设计，上部是 Hydril 油管柱，下部为长年公司的 HNQ 绳索取心钻杆，具有较强的钻深能力。钻进方案是先用小口径取心钻进，然后再扩孔达到设计孔径，具有效率高和成本低的优点。

(8)墨西哥陨石坑科学钻探项目。墨西哥 Chicxulub 陨石坑为世界三大陨石坑之一。其产生年代为 6500 万年以前，正是恐龙灭绝的地质年代。该科学钻探的目的是确定其 200 km 直径陨石坑撞击特征，评价撞击对全球生物和环境的影响，以及中央隆起(达 15 km)地壳岩石特征。

该项目计划在陆上先钻 700 m 的先导孔，再开展 2500 ~ 3000 m 深主孔的钻探；大洋钻探计划(ODP)资助在邻近浅海钻 2 个钻孔。该项目采用轻型液压顶驱钻机进行先导孔的钻探。

4.2 国内近 10 年的主要成就

“中国大别 – 苏鲁超高压变质带大陆科学钻探工程项目”于 1997 年由国家科技领导小组批准列为国家重大科学工程项目，1998 年经国际大陆科学钻探计划组织(ICDP)批准该项目立项建议书，并拟资助 150 万美元。1999 年国家计委批复项目立项建议和项目总经费 1.496 亿元。2000 年，项目完成可行性研究报告和工程设计的评审，2001 年初向国家计委上报开工报告。

该项目主要任务是在江苏省东海县毛北地区变质结晶岩区分别打 2000 m 先导孔和 5000 m 的科学钻孔。其科学目标是再造大陆板块汇聚边界的深部物质组成与结构；揭示超高压变质岩的形成和折返机理；研究地球动力学过程和壳幔相互作用；揭示成矿机理、发现新矿物和新物质，等等。其技术目标是形成一套完整的硬岩深孔(5000 m)、大直径(终孔直径 156 mm)的金刚石绳索取心钻进技术体系；研究开发新型组合式取心钻进系统，如绳索取心与液动锤、孔底马达的组合钻具和钻进工艺；完善液动锤技术，继续保持领先地位；建立地球物理测井新仪器、新方法、新技术的试验基地等等。

20 世纪 90 年代末，该项目在选区完成了大量地质和地球物理调查工作，打了 2 个预先导孔，孔深分别为 432 m 和 1028.7 m，进一步了解了地下岩性和产状、地下温度梯度，并进行了 VSP 测量和综合测井。分析编录了 2 个钻孔 1340 m 的岩心。

项目已于 2001 年 8 月正式开工实施，进展顺利，已完成 2000 m 先导孔钻探和扩孔任务，现正在进行主孔取心孔段的钻进施工。

4.3 国内与国际先进水平的技术差距

前苏联于 30 年前开始，历时 20 年，完成了 SG – 3 超深井科学钻探，孔深达 12261 m；德国于 1982 ~ 1994 年期间实施 KTB 科学钻探计划，完成深度达 9101 m 的世界第二深孔。由独联体国家完成的超过 5000 m 深的科学钻孔已达 10 口左右(其中亚洲 2 口)。我国 5000 m 科钻一井深孔科学钻探是我国开展科学钻探的第一口井，是实施科学钻探工作的开始。根据深化地学研究需要和为解决我国资源、环境等重大问题，我国还应实施多口科学钻探深孔的任务。

我们还应开展广泛国际合作，组织我国科学家和工程师参与到国外的科学钻探研究项目中去。

4.4 需要加强研制、引进的关键技术

(1)研制 5000 m 组合式钻探设备；(2)引进德国高强度绳索取心合金钻杆；(3)起步研制自动垂钻系统，引进德国 Deutshe Montan Technoloie 公司的 ZBE3000 型自动垂钻系统(外径 216 mm)；(4)研制孔底动力机和绳索取心二合一钻具；(5)研究倾斜岩层钻孔防斜技术及配套机具；(6)研究硬岩钻进高效取心金刚石钻头；(7)研究侧壁取心技术和工具；(8)研究钻孔岩心定向技术和装置；(9)研究科学钻探钻井液体系和材料；(10)研究新型甲酸盐钻井液。

5 大洋钻探

5.1 国际发展现状

1968 ~ 1978 年，由美国等多国参与了深海钻探计划(DSDP)。执行计划的美国“格洛玛·挑战者”号钻探船航行世界各大洋，行程 25 万 km。通过钻探，提供了大量海底岩石样品供研究，取得了许多重要地学成果。其初步报告共 38 卷，每卷约 1000 页。

从 1985 年开始，至今尚在继续执行的大洋钻探

万方数据

计划(ODP)是 DSDP 的后续计划,实施从全球洋底取样,研究地壳演化及环境。参加 ODP 计划的成员有 20 多个国家和地区。我国于 1994 年以 6 个成员国之一的身份参加。

执行 ODP 任务由美国的"JOIDES 决心号"科学钻探船担任。该钻探船总排水量 1.86 万 t,船体长度 154 m,宽度 23 m,具有面积大而稳固的钻探平台,良好的动力定位系统和高纬度抗海冰能力;配有功率强大、性能优越的钻探设备;备有 9842 m 总长度的钻杆及设置自动排管系统;钻塔高 61.5 m 并配备钻具升沉补偿器;船上建有 7 层实验大楼,配有岩石学、沉积学、古地磁学等先进分析测试仪器及制冷岩心库等等。"JOIDES 决心号"钻探船最大钻探海底以下深度为 4000 m 左右。

ODP 计划为完成海底钻探取样,开发了许多各具特点、先进实用的海底钻具,如高级活塞取心器(APC)、压力岩心取样器(PCB)、马达驱动取心器(MDCB)、回转取心器(APC)、压力岩心取样器(RCB)、马达驱动取心器(MDCB)、回转取心管(RCB)、延伸取心筒(XCB)、原位流体取样器、硬岩定向装置(HRO)、声波岩心监视器(SCM)、原位温度测量仪(WSTP)和海底长期观测站(CORK),等等。为了保证每次下孔钻头能对准海底孔口,设置了先进的锥形重返接口器(Re-entry Cone)、硬岩导引基座和水下电视系统等高技术装置。

至 1997 年,ODP 计划在全世界海域已实施海底钻孔 1195 个,最大钻深达 5980 m,最大海底钻探深度 2111 m,共获取岩心 138 km 长,岩心样品共 100 万件。DSDP 和 ODP 计划经过 30 余年 193 个航次的大洋钻探活动,取得了许多惊世的重要发现,验证了板块构造学说,发展了古海洋学;在海洋沉积和洋壳中发现了深部生物圈以及直接采集了天然气水合物样品,等等。

由于 ODP 计划将于 2003 年结束,并且目前科学界又提出需由大洋钻探解决的新科学目标,如探索地球地幔驱动力,深入研究全球变化,解释地壳运动过程,追寻生命起源遗迹和探测海洋深部能源等。于是,在 20 世纪 90 年代中期,日本开始孕育组织了新一轮的大洋钻探计划,即 OD21 计划——21 世纪大洋钻探计划(Ocean Drilling in the 21st Century)。日本政府拨款 500 亿日元,建造新的钻探能力更加强大的"隔离管式钻探船"(Riser Drilling Vessel),计划于 2003 年入海航行作业。该钻探船排水量达 5.7 万 t,船体长度和宽度分别为 192 m 和 38 m,总功率达 3.5 万 kW,拟配备 1.2 万 m 长度的钻杆。该钻探船工作最大海水深度 4000 m,最大钻探海底以下深度 7000 m。这些技术指标均将大大超过现在正实施的 ODP 计划的"JOIDES 决心号"钻探船。

OD21 隔离管式钻探船采取隔离管方式,即将钻探船体与海底用隔离管固定联成一体,这将带来以下优点:(1)形成钻进冲洗液正常循环,及时排除岩屑,提高钻进效率,更好地保持孔壁稳定;(2)钻孔质量好,钻探深度加大;(3)减少海洋环境受泥浆污染,等等。

OD21 隔离管式钻探船上配备驱动 1 万 m 长度钻杆柱的全液压顶部驱动系统,先进的动力定位系统(DPS),海底孔口防喷器等。该钻探船将由日本三菱重工业公司承包制造,其中 DPS 则由 Mitsui 工程造船公司完成。

OD21 计划已于前几年建立了筹备组织,其国内参加的单位有静冈大学、名古屋大学、高知大学和广岛大学等。OD21 计划办公室于 1999 年成立,设于日本海洋科技中心(JAMSTEC)。

显然,日本筹备实施 OD21 计划是要把已开展 30 余年的大洋钻探计划(DSDP、ODP)的主动权从美国手中取代过来,但是美国不会轻易放弃。于是,一个新的国际大型海洋钻探计划"集成大洋钻探计划"IODP(Integrated Ocean Drilling Program)应运而生,由日本和美国联合主持。IODP 的基本思路是 OD21 + ODP 延续,将从 2003 年开始实施。届时,日、美各自的钻探船同时使用,日本的 OD21 新型"隔离管式钻探船"正式下水出航,美国原有的"JOIDES 决心号"钻探船返修改装后续用。21 世纪初新一轮向海洋更深处(海底以下 7000 m)的钻探取样研究计划将在不久后正式实施。

5.2　国内近 10 年的主要成就

1998 年 4 月,中国正式加入国际大洋钻探计划(ODP),成为继美国、德国、英国、法国、日本、欧洲联合体与环太平洋联合体之后的成员,也是 ODP 第一个"参与成员"。

由中国科学家提出,在中国南海首次进行大洋钻探的 184 航次,于 1999 年 2 ~ 4 月实施。该航次的主题是"东亚季风演变史在南海的记录及其全球气候意义"。本航次由中国科学家主持,有海内外、海峡两岸 9 位科学家参加。这次钻探航次历时 2 个月,跨越 40 个纬度,航程 5000 多 km,在水深 2000 ~ 3000 m 的 6 个站位钻孔 17 口,孔深最深达海底以下 850 m。取得岩心共 5500 m,取心率约 95%,获取了

万方数据

3000 多万年以来的深海沉积记录，为研究青藏高原隆升、季风变迁的历史和了解中国宏观环境变迁与气候变化机制提供了科学依据。

1994 年底，中国第一台水下机器人“探索号”在西沙群岛附近海域成功下潜水下 1000 m 深处，成为中国到达深海的第一个“先驱者”。1995 年，由中国科学院沈阳自动化研究所研制的中国第一台 6000 m 自治水下机器人（CR－01 型），在太平洋中国大洋多金属结核开辟区 5000 多 m 水深处试验成功，圆满完成实测考察任务。这是我国 863 高技术计划海洋领域的一大成果。

863 计划另一成果——20 m 长岩心重力取样器由国家海洋局第一海洋研究所研制成功。在 1997 年 10 月“向阳红 9 号”科学考察船于冲绳海槽 2 号站位，此取样器获得 17.11 m 长的沉积物岩心样品，创造了在东海海域 10 m 以上的岩心最长记录。次年广州海洋地质调查局“海洋四号”执行 DY95－9 航次大洋多金属结核调查中，创造了重力活塞取样 31.9 m 的国内新记录。

此外，863 计划研制的浅海沉积物捕获器（工作水深 200 m）和深海沉积物捕获器（工作水深 6000 m），经过东海陆架区 140 m 水深和太平洋 5200 m 水深处试验应用，表明均达到国际同类产品的先进技术水平。

5.3 国内与国际先进水平的技术差距

我国加入 ODP 较晚，且由我国科学家提出并主持的钻探航次仅有 1 次，我国在大洋钻探计划中发挥的作用不大。作为大国，为了维护我国海洋权益，加强海洋地质研究、勘查和开发海底矿产资源，发展国民经济，进一步加强参与大洋钻探计划是必要的。

美国和日本以及其它西方发达国家均拥有自己的深海钻探船，配备先进钻探设备与水下各种用途取样钻具，以及水下遥控作业船（ROV）、载人深潜器等先进装备。与之相比，我国明显落后。有的方面是空白，如深海钻探船、深潜器；有的方面是性能较差，工作水深比较浅，如水下机器人、ROV 等。

根据“集成大洋钻探计划”（IODP），钻探海底以下深度将从目前的 4000 m 左右延深至 7000 m，所建造的设备（如 OD21 隔离管式钻探船等）更加庞大和复杂，高技术的应用更加深入，可以预计取得的成果将更为丰硕和惊人。按照这个发展动向，我国应及早考虑准备加入 IODP 计划，同时也需加强我国独立自主地开展近海和浅海的海洋钻探工作。

5.4 有关发展建议

万方数据

5.4.1 开展大洋钻探装备和技术、工艺合作交流

合作内容：大洋钻探船、钻探设备、取样装置和工具；深水载人深潜器、遥控作业船（ROV）等水下设备。合作对象：日本科技厅海洋科技中心（JAMSTEC）。

5.4.2 需要加强研制、引进的关键技术

（1）加强我国近海、浅海钻探船、钻探设备、钻具和工艺的研究；（2）加强研制 6000 m 水下载人深潜器和深水遥控作业船（ROV）等水下设备；（3）加强研究天然气水合物“保压保温取心”（PTCS）技术和装置；（4）更深入地参与大洋钻探计划（ODP）和“集成大洋钻探计划”（IODP）的研究活动，进一步了解其高新技术和先进装备，为自主开发提供条件。

6 极地钻探

6.1 国际发展现状

至今，有十几个国家开展或加入极地钻探工作。以下是几项重要进展：

（1）美国于 1968 年在南极 Byrd 站钻成孔深 2164 m 的钻孔。这是由美国军队寒冷区域研究和工程实验室（CRREL）根据其极地冰心钻探计划，运用所研制的电动取心钻具完成的。CRREL 电动钻具功率 12.8 kW，采用行星减速器，钻头转速 225 r/min，达到的机械钻速为 10 m/h。

（2）丹麦于 1981 年在格陵兰钻成深度 2037.6 m 的钻孔，达到基岩。采用了由哥本哈根大学研制的 ISTUK 型电动取心钻具。

（3）苏联于 1985 年在南极东方站用热熔法钻具钻成 2202 m 的创世界记录的钻孔。该热熔法钻具由列宁格勒矿业学院和极地研究所联合研制，称为 TELGA 型电热钻具。其底部取心器为含有镍铬合金加热元件在内的环形黄铜加热器。

（4）20 世纪 90 年代开始，由法国、德国、英国、比利时和丹麦、冰岛等国家实施的格陵兰国际冰心钻探研究计划（GRIP），旨在揭示过去 20 万年期间的气候变化。

由于低温，极地钻探使用特殊冲洗液：烃类为基础的液体、乙醇水溶液及其它防冻剂等。至今，在极地冰心钻探最大深度已超过 3000 m。

据报道，已在南极 2000 m 深的海底钻探取样发现了铜，这将有助于了解南极地质演变和矿床形成机理。

为了更加深入、完整和系统地研究地球科学，国际大洋钻探计划（ODP）、国际大陆科学钻探（ICDP）

孕育开展合作,拟联合形成一个全球范围内,包含大陆、海洋和极地在内的科学钻探计划——地球钻探(Earth Drilling)计划。

6.2　国内近 10 年的主要成就

1984 ~ 2000 年,我国成功地组织了 16 次南极科学考察活动,开展了包括地质学、地球物理学、冰川学、海洋学等在内的多学科研究。在“八五”科技攻关项目“中国南极科学考察与研究”7 个专题中列有“南极大陆和陆架盆地岩石圈结构、形成、演化和地球动力学及重要矿产资源潜力研究”等地学类专题,并取得较好成果。“九五”科技攻关项目中也列入拉斯曼丘陵元古代以来岩石圈构造演化及环境意义、南极考察区的海洋 - 大气 - 冰雪 - 生物等圈层相互作用等研究内容。

我国第 15 次南极科学考察,于 1999 年第一次深入南极内陆冰盖距中山站 1100 km,抵达冰盖最高区域(4000 多 m 高),用我国自行研制的钻机钻取了 100.6 m 的冰心,在距站 800 km 处钻取 82.5 m 长的冰心。近期,我国在南极冰层钻探深度已达 301 m,取冰心 275 m。

同年,我国首次北极科学考察 71 天,获得包括北冰洋 3000 m 深海底的沉积物;最大水深达 3950 m 的水文综合数据;5119 m 长的沉积物岩心及共计 46.3 m 的冰心和表层雪样等。

6.3　国内与国际先进水平的技术差距

西方国家早在 20 世纪 30 年代就开始在南极冰盖开展冰心钻探。在已过去的 30 多年中,前苏联、美国和丹麦等国分别在极地实施了超过 2000 m 的深孔钻探。在 90 年代,极地钻探孔深已超过 3000 m。我国只是近几年才开始极地冰层钻探,所钻冰心长度仅 300 余 m,存在较大差距。国外冰层钻探方法、机具、冲洗液和钻进工艺已发展成多种多样,冰层钻进取样除机械回转方式外,俄罗斯等国家开发的热熔方法和机具有其先进性,实际应用具有良好效果。对比起来,我国所采用的冰心钻探方法和机具比较单一,钻孔深度较小。

6.4　有关发展建议

6.4.1　开展极地钻探设备和技术国际合作

合作内容:极地冰层取样钻机、取冰心钻具及低温冲洗液等。合作对象:俄罗斯圣彼得堡矿业学院。

6.4.2　需要加强研制、引进的关键技术

(1)较深孔(几百米至 1000 m)冰心钻探设备、工具和冲洗液研究;(2)研究热熔法取冰心装置、器具和工艺,引进俄罗斯圣彼得堡矿业学院技术。

万方数据

7　外星钻探(Extraterrestrial Drilling,简称 E.T.Drilling)

7.1　国际发展现状

随着航天事业不断发展,为了研究宇宙地质学,了解外星物质组成和演化,探测地球外生命存在的可能和形式,以及寻找稀有贵重矿产资源等,外星钻探应运而生,并于 20 世纪后半叶取得进展。

1969 年美国进行了月球钻探,取得其表面 0.7 m 深处的土样。1972 年美国在月球表面钻了 3 个 2.5 ~ 3 m 深的钻孔,在其中 2 个钻孔内安装了测量月球表面温度的探头,另一个钻孔则对月球土壤取样。所用钻机以电池驱动,采用了带取心管(460 mm 长)的螺旋钻杆,及专门研制的表镶金刚石钻头。钻头转速 280 r/min,取出样品直径 19 mm。

苏联于 1972 年将由地质部中央设计局设计的取样钻机放入人造卫星,登上月球并取样成功。该钻机为冲击回转式,质量 13.6 kg,以双电机驱动,每个电机功率为 140 W。岩心直径 18 mm。

1996 年美国航天局(NASA)火星探测计划已将微型钻机发射,拟送上火星,探测其表壳冰的存在。计划用钻机钻入火星表面地下 0.3 ~ 2 m 深处。为钻入火星表壳,采用高速冲击钻入方法,其速度达到 720 km/h(200 m/s)。后由于技术原因,计划未能实现(火星着陆器偏离运行轨道)。

2001 年 4 月,美国发射了“奥德赛”火星探测器,探测火星上是否有水,测出火星表面化学成分和矿物质。该探测器携带了专门取样器。

由于外星上恶劣的环境(无空气,昼夜温差大)、缺少能源(仅可利用太阳能或自带电池)、无钻进用冲洗介质及低的重力值等原因,所以外星钻探的技术和装备要求很高。美国、俄罗斯等航天大国正在抓紧开展此方面的研究。

7.2　国内近 10 年的主要成就

我国计划今后 3 ~ 8 年内分 4 步实现月球无人探测和宇航员登月钻探取样。“神舟四号”航天器已发射成功。研制与月球着陆巡游车配套的月球表面钻探取样系统已提上日程,并列入我国《“十五”民用航天预先研究计划纲要》。1998 年,已确定由清华大学牵头开展“月球探测机器人总体方案设计及关键技术分解”。中国地质大学(武汉)鄢泰宁教授已提出研制月球钻探取样机具方案,正积极申请科研立项。

7.3　国内与国际先进水平的技术差距

前苏联和美国在登月和火星上分别对其表壳进行了钻探取样,取得显著成效。而我国外星钻探工

作正准备实施。

7.4 有关发展建议

根据我国航天事业的发展和需要,加速开展有关钻探设备和技术、工艺研究。

8 掘进工程

8.1 国际发展现状

8.1.1 全断面掘进机在发达国家普遍应用

自 20 世纪 50 年代全断面掘进机问世以来,现在其技术水平、规格、品种和适应范围都有很大发展。尤其是攻克了硬岩掘进难题,为其广泛应用奠定了坚实基础。

目前国外生产全断面掘进机的主要厂商有:美国的罗宾斯(Robbins)公司、德国的德马克(Demag)公司和维尔特(Wirth)公司。生产的全断面掘进机直径 1.5 ~ 15 m,微型掘进机直径 0.25 ~ 1.5 m,已广泛用于 120 多个国家和地区。其掘进巷道的速度为传统凿岩爆破法的 2 ~ 3 倍,多次突破月进尺 2000 m 的记录,最高日进尺 80 m。目前已研制成非圆形(矩形、椭圆形、双或三圆形)、双套动力设备等新型全断面掘进机。

8.1.2 液压凿岩设备性能优越、品种齐全,实现凿岩自动化

瑞典 Atlas Copco 公司研制的 COP 系列产品居世界领先水平。在其原有的 COP1038、COP1032 型基础上,研制成功具有 3 种型式的 1238 型液压凿岩机。近来又研制成功了 COP1440、COP1838、COP4050 等型号液压凿岩机,在液压系统上有很大改进,性能更为优越。其凿岩效率比 COP1238 型提高 1 倍,在坚硬花岗岩上可达 3 ~ 4 m/min。

芬兰 Tamrock、法国 Secoma 等公司生产的液压凿岩机及配套的钻车也具有世界先进水平。

法国 Montabert 公司、日本东洋公司、瑞典 Atlas Copco 公司和芬兰 Tamrock 公司等已向市场推出全自动钻车,或称之为凿岩机器人。其控制方式有 2 种,一种是自动控制,另一种是遥控操作。

8.1.3 掘进巷道围岩量测技术和仪器先进

目前国外重点发展非接触式围岩测量技术,能测量围岩的净空收敛值、围岩内部位移以及巷(隧)道断面的形状和尺寸。主要产品有瑞士的 A. MT4000、TLS 型仪器等。

围岩量测目前的发展趋势是:(1)利用高精度激光无合作目标测距;(2)利用激光信息载体的多样性提取测点渗流热码;(3)利用高精度测角编码器获取高精度角定位,等等。

万方数据

8.1.4 美国于 20 世纪 90 年代中期开始实施国家先进钻探和掘进计划(NADET)

美国所实施的 NADET 计划(National Advanced Drilling Excavation Technique Program)的目的是加强以下领域的实力:勘探与开发石油、天然气、地热、矿产资源;环境监测与治理;地下掘进与浅层开挖及深部地球的科学钻探与研究等。

该计划研究的重点是新型岩石破碎机理和方法(如热力破碎、激光钻进、中子束钻进等),先进的孔底动力钻具(如高速涡轮钻具、过载小直径螺杆钻具等),高级定向钻进(中、短、超短半径水平井、多分支井等),等等。

NADET 计划实施几年来取得许多进展,特别是在地热钻井方面获得较好成果。如先进地热涡轮钻具、多种新型改进钻头和切削材料(如新焊接方法热稳定钻头、带喷射冲洗小圆复合片钻头、纳米相切削材料等),等等。

8.2 国内近 10 年的主要成就

新奥法应用研究和推广取得很大进展,创巨大经济效益和社会效益。由辽宁地矿井巷建筑工程公司施工的北京鹰山隧道(最大开挖断面 223.5 m^2,距地面埋深仅 2 m)应用新奥法施工取得良好效果。

近 10 多年来,我国共研制成 12 种型号液压凿岩机和 10 种型号全液压钻车。中南工业大学已研制成凿岩机器人。DZYG 系列液压凿岩机由中国地质大学(武汉)等单位研制。该机机重 150 kg,冲击能量 250 J,可钻孔径 > 50 mm。其活塞行程可调以适应不同硬度岩石,主要用于深炮眼和露天作业。该机达到凿岩 6000 延 m 不拆机检修,达到瑞典 Atlas COP1238ME 型同等水平。该校还研制成功复合片齿钎头和复合片齿整钎,获 2 项专利。

目前,我国第二重型机械集团公司已研制成功全断面连续掘进机,钻掘直径 3.65 m,每 24 h 掘进进尺可达 180 m。

HBT 系列混凝土泵由中国地质科学院勘探技术研究所研制,可用于小断面地质勘探巷道等多领域。该产品销往全国十几个省市,获普遍推广,并多次获科技奖励。

由中国地质科学院探矿工艺研究所研制的 DMY 型激光巷道断面测量仪系列,集短程经纬仪、短程测距仪和微型计算机于一体,测量精度高,且轻巧、测量快捷、信息量大,已达到国际先进水平。

8.3 国内与国际先进水平的技术差距

8.3.1　全面掘进机存在较大差距

全面掘进机是基础研究与高技术的结合，充分利用了当代电子、信息、液压、激光、遥测、遥控、多媒体和新材料的最新成果。由于我国在上述各方面的基础较差，加上全面掘进机研制起步晚等原因，目前与国际上发达国家相比差距较大，如大直径盘形滚刀、硬岩切削刀具、高压电机等的研制，元部件的通用性、可靠性和整机的系列化等。

8.3.2　液压凿岩技术落后

瑞典、芬兰等国家已实现了凿岩工序的全部自动化。先进全自动的凿岩钻车配套高性能的液压凿岩机等，通过地面控制室实现监视和遥控。我国在规格品种、性能参数和“三化”程度等方面存在较大差距，液压凿岩机在凿岩效率和可靠性上存在不足，轻型液压凿岩机(20 ~ 60 kg)在技术上尚未过关。

8.3.3　巷道围岩测量仪器

国内应用非接触式测量仪器尚不够普及。测量仪器的品种和性能与国外存在不少差距。

8.4　有关发展建议

8.4.1　开展巷道掘进先进技术和装备合作

合作内容：全断面掘进机、凿岩设备(液压钻车和凿岩机)。合作对象：瑞典工业、就业交通部地质调查局；Atlas Copco 公司；Atlas – Jarva 公司。

8.4.2　需要加强研制、引进的关键技术

(1)研制地质勘探巷道全断面掘进机；(2)加强研制轻型(20 ~ 60 kg)液压凿岩机；(3)研制先进自动化凿岩钻车；(4)研制高精度新型非接触式围岩量测仪器。

参考文献：

[1] Alan Kennedy. Computer-aided core drilling[J]. geoDrilling International, 1998, (4).

[2] Atlas Copco. Automatic Operator Included[J]. geoDrilling International, 1998, (4).

[3] Automatic Performance Control—a major step in core drilling[J]. geoDrilling International, 1997, (2).

[4] Falconbridge, JKS Boyles. Partners in drilling automation[J]. geoDrilling International, 1996, (8).

[5] 陈琦丽. 钻探技术的新进展[J]. 凿岩机械气动工具, 1999, (1).

[6] 刘广志. 刘广志钻探工程文集[M]. 北京：地质出版社, 1992.

[7] 左汝强. 美国加拿大西部边远地区的地质钻探[J]. 探矿工程, 1994, (4).

[8] 左汝强. 直升飞机在我国中西部山区地质钻探中应用前景[J]. 探矿工程, 1999, (增刊).

[9] Bort Longyear Inc. LF70 dimond core drilling in Indonesia and Saskatchman[J]. geoDrilling International, 1995, (12).

[10] Alan kenndy. Ruogh-terrain drills and support[J]. geoDrilling International, 1996, (2).

[11] GE Super brasives. Advanceel in dimond core bit technology[J]. geoDrilling International, 1996, (12).

[12] George Cooper. Cyrogenie drilling[J]. GeoDrilling International, 1997, (8).

[13] 杜祥麟, 李振亚. 地质系统地质机械的研究与开发[J]. 探矿工程, 1999, (增刊).

[14] 王关清, 李克向, 陈元顿, 等. 中国陆上石油钻井科技发展回顾与展望[J]. 石油钻采工艺, 2000, 22(1).

[15] 李克向. 21 世纪钻井技术展望[J]. 钻采工艺, 1999, 22(6).

[16] 廖谟圣. 21 世纪初的海洋石油钻机[J]. 石油矿场机械, 2000, 29(1).

[17] 王同良, 高德利. 世界石油钻井科技发展水平与展望[J]. 石油钻采工艺, 2000, 22(2).

[18] 张嗣伟. 关于我国石油钻机技术发展战略的思考[J]. 欧美同学会会刊, 2000.

[19] 赵明生. 石油和石化装备制造业的成就与发展对策[J]. 石油机械, 2001, 29(2).

[20] 张连生. 国外石油钻井装备最高技术经济指标[J]. 国外石油机械, 1999, 10(4).

[21] 符达良. 井下动力钻具的发展及其在推广应用中的问题[J]. 石油机械, 1999, 27(12).

[22] 张连山. 国外液压驱动石油钻机的新进展[J]. 石油机械, 2000, 28(2).

[23] 蒋世全. 大位移井技术发展现状及启示[J]. 石油钻采工艺, 1999, 21(2).

[24] 张武辇. 我国第一口创世界纪录大位移井——西江 24 – 3 – A14 井总结[J]. 石油钻采工艺, 1998, 20(增刊).

[25] 岳登进. 钻多分支水平井井下工具发展状况[J]. 钻采工艺, 1999, 22(3).

[26] 焦勇. 突破 10 km 障碍的大位移井钻井技术[J]. 钻采工艺, 1999, 22(3).

[27] 徐同台, 赵忠举, 徐云英. 国内外钻井液技术新进展及对 21 世纪的展望(1)、(2)[J]. 钻井液与完井液, 2000, 17(6); 2001, 18(1).

[28] 赵忠举, 徐同台. 国外钻井液新技术[J]. 钻井液与完井液, 2000, 17(2).

[29] 汤松然, 胡耿寰, 何远信. 钻井液技术发展的现状与前景[J]. 探矿工程, 1999, (增刊).

[30] NEWSLETTER[S]. icdp, 1999, (1); 2000, (2).

[31] 鄢泰宁. 大洋钻探计划及其高新技术[J]. 探矿工程, 1998, (3).

[32] Alfred Eustes, Jamal, et al. Review of the issures related to extrater restrial drilling[J]. geoDrilling International, 1999, (10).

[33] 高澜庆. 国外凿岩(穿孔)设备的发展动态[J]. 矿山机械, 2000, (3).

[34] 朱建新, 何清华, 等. 液压凿岩设备的研制现状及其发展思路[J]. 凿岩机械气动工具, 1999, (2).

[35] 谢习华, 何清华, 郭勇. 隧道凿岩机器人钻臂移位跟踪与控制系统[J]. 凿岩机械气动工具, 2000, (2).

[36] 张宝印. 海上油田开发工程国产化技术研讨会文集(中国高科技产业化研究会海洋分会第四届年会)[M]. 北京：海洋出版社, 1998.

[37] 艾万铸, 李桂香. 海洋科学与技术[M]. 北京：海洋出版社, 2000.

[38] 地质矿产部科学技术司. 探矿工程科技进步 100 例[M]. 北京：地震出版社, 1998.

致谢：李常茂、赵尔信、李明祥和何远信等专家为本文提供了部分资料，濮梅月同志协助整理材料，在此特表感谢。　(全文完)

更正：此文的作者简介(见第 1 期第 1 页)有误，左汝强同志的职称应为“教授级高级工程师”，特此更正，并向作者、读者致歉。

万方数据